

# **UNIVERSIDADE DO PORTO**

## **Faculdade de Engenharia**

### **Lubrificação de Motores Diesel**

**Carlos Alberto Cruz Rodrigues**

Tese submetida com vista à obtenção do grau de Mestre  
em Manutenção Industrial sob a supervisão do Professor Doutor Luís  
Andrade Ferreira e Professor Doutor Filipe Didelet Pereira

Porto, 2009

## Resumo

Em Portugal, mesmo hoje, é ainda reduzido o número de publicações técnicas que reúnam em linguagem clara e acessível, princípios essenciais e noções básicas de aplicação prática no campo da lubrificação e dos lubrificantes.

Simultaneamente, se pensarmos no papel importantíssimo que os motores diesel desempenham em variadíssimos campos da economia moderna, desde a marinha à agricultura, dos transportes terrestres à indústria, e se pensarmos na severidade de funcionamento a que estes motores estão sujeitos, torna-se evidente a importância da sua melhor e mais racional lubrificação e manutenção.

Desta forma, e face à cada vez maior diversidade de aplicações para motores a diesel, a crescente produção dos mesmos e os aperfeiçoamentos técnicos introduzidos de ano para ano, conduziram a realização da dissertação intitulada de «Lubrificação de Motores Diesel» que se apresenta de seguida.

**Abstract**

In Portugal, even today, it still small the number of technical publications which meet in plain language and accessible, essential principles and basics of practical application in the field of lubrication and lubricants.

At the same time, when we consider the important role that the diesel play in numerous fields of the modern economy, from the navy to agriculture, land transport to the industry, and if we look at the severity of the operation that these engines are subject, it becomes clear the importance of its best and most efficient lubrication and maintenance.

Therefore, and given the increasing diversity of applications for diesel engines, the increasing production of the same and the technical improvements introduced from year to year, lead to the achievement of the dissertation entitled «Lubrication of Diesel Engines» which presents followe

## Agradecimentos

Sendo difícil mencionar todos quantos, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho, quero começar por agradecer a todos os que se sintam esquecidos ao lerem estas breves linhas.

Começo por manifestar o meu profundo agradecimento aos Srs. Professores Doutores Luís Andrade Ferreira e Filipe Didelet Pereira pela disponibilidade, apoio, incentivo, colaboração e rigor colocados na orientação do presente trabalho, ao longo das suas diversas fases de execução.

Ao Engenheiro Rui Teixeira, da IVECO, o meu obrigado pelo acesso a todos os meios e materiais, que pôs à minha disposição, durante a realização deste curso de Mestrado. Realço também o importante contributo do Sr. Francisco Ramos, que disponibilizou o seu tempo e “Know-how” técnico, enquadrado na realização da presente tese.

Igualmente ao Engenheiro Ernesto Ramos, da Barloworld STET, o meu obrigado pelo acesso a todos os meios e materiais, que pôs à minha disposição, durante a realização deste curso de Mestrado, bem como ao Engenheiro Augusto Martins e ao Sr. Paulo Pimenta.

Realço também o importante contributo do Doutor Jorge Simões e do Engenheiro José Amaral, da Galp Energia pela bibliografia posta à minha disposição assim como todo o “Know-how” técnico, enquadrado na realização da presente tese.

Para o Engenheiro e amigo Vítor Almeida, respectivamente pelo acesso á sua biblioteca pessoal, o meu agradecimento.

Aos meus pais e irmão, mais do que um agradecimento tributo-lhes infindável admiração, por naturalmente se fazerem constituir pedras basilares de toda a minha existência. Á minha mulher por todo o seu apoio, motivação e em especialmente pelas horas de convívio roubadas.

Agradeço ainda a todos os colegas, amigos e restante família, que das mais diversas formas sempre me apoiaram no trajecto até agora percorrido. Destes, destaco as seguintes individualidades: Filipe Filipe, Vítor Bernardo, Isabel Santo e Jorge Neves.



# ÍNDICE

	Página
Resumo	i
Abstract	ii
Agradecimentos	iii
Índice	iv
Índice de figuras	viii
Índice de quadros	xi
<b>Capítulo 1      Introdução e objectivos</b>	<b>1</b>
1.1      Enquadramento do Problema	1
1.2      Objectivos	2
1.3      Organização do Trabalho	2
<b>Capítulo 2      Considerações Gerais Sobre Motores Diesel</b>	<b>4</b>
2.1      O Motor Diesel	4
2.2      Princípio de Funcionamento dos Motores Alternativos	10
2.2.1      Ciclo de trabalho	10
2.2.1.1      Motores a quatro tempos	10
2.2.1.2      Motores a dois tempos	12
2.2.2      Motores de ignição por faísca	13
2.2.3      Motores de ignição por compressão	14
2.3      Ciclos Teóricos dos Motores Alternativos	14
2.3.1      O ciclo Otto teórico	15
2.3.2      O ciclo Diesel teórico	15
2.4      Ciclos Reais dos Motores Alternativos	16
2.4.1      Diferenças entre o ciclo Otto real e teórico	16
2.4.2      Diferenças entre o ciclo Diesel real e teórico	17
2.5      Resenha Bibliográfica	19
<b>Capítulo 3      Lubrificantes e suas Propriedades</b>	<b>21</b>
3.1      Breve Panorâmica da Obras Abordadas	21
3.2      Os Lubrificantes	23
3.3      Propriedades Genéricas dos Lubrificantes	25

3.3.1	Grau e índice de viscosidade	26
3.3.2	Ponto de inflamação e de combustão	30
3.3.3	Ponto de escorrimento ou congelação	30
3.4	Aditivos	31
3.5	Especificações dos Lubrificantes	32
3.5.1	Classificação com base na viscosidade	32
3.5.2	Classificação com base nas condições de serviço	35
3.5.2.1	Classificação A.P.I	36
3.5.2.2	Classificação A.C.E.A	39
3.5.2.3	Classificação MIL-L do exército americano	42
3.6	Massas Lubrificantes	43
3.6.1	Características das massas e sua classificação	44
3.6.1.1	Consistência	44
3.6.1.2	Ponto de gota	45
3.6.1.3	Viscosidade aparente	46
3.6.1.4	Outras características	46
<b>Capítulo 4</b>	<b>Lubrificação de Motores Diesel</b>	<b>47</b>
4.1	Funções do Lubrificante	47
4.1.1	Protecção contra o desgaste	47
4.1.2	Arrefecimento	48
4.1.3	Vedação	49
4.1.4	Limpeza	49
4.2	Lubrificação de Chumaceiras	50
4.2.1	Mecanismo da lubrificação de chumaceiras	50
4.2.2	Chumaceiras principais e chumaceiras de cabeça da biela	50
4.2.3	Chumaceira do cavilhão do embolo	52
4.2.4	Chumaceiras do veio de excêntricos e comando das válvulas	52
4.3	Sistemas de Lubrificação de Chumaceiras	53
4.3.1	Sistema de lubrificação por chapinhagem	53
4.3.2	Sistema de lubrificação por perda total	54
4.3.3	Sistema de lubrificação forçada ou sob pressão	55
4.4	Lubrificação dos Cilindros	58
4.5	Componentes do Sistema de Lubrificação	59
4.5.1	O cárter	59
4.5.2	A bomba de óleo	61

4.5.2.1	Bomba de carretos	61
4.5.2.2	Bomba de rotores excêntricos	62
4.5.2.3	Bomba de palhetas	63
4.5.2.4	Bomba de êmbolo	64
4.5.3	As condutas de óleo	64
4.5.4	As válvulas de regulação	64
4.5.5	Os filtros	65
4.5.5.1	Filtros metálicos	69
4.5.5.2	Filtros do tipo absorvente	69
4.5.5.3	Filtros centrífugos	70
4.5.5.4	Filtros magnéticos	72
4.5.6	O permutador de calor	73
4.5.7	Os órgãos de controlo e de segurança	73
<b>Capítulo 5</b>	<b>Casos de Estudo</b>	<b>76</b>
5.1	Sistema de Lubrificação do Motor IVECO da Gama DAILY	76
5.1.1	Apresentação do motor	76
5.1.2	Princípio de funcionamento do sistema de lubrificação do motor F1C	79
5.1.3	Enquadramento nos sistemas teóricos de lubrificação	86
5.2	Sistema de Lubrificação do Motor IVECO da Gama STRALIS	88
5.2.1	Apresentação do motor	88
5.2.2	Princípio de funcionamento do sistema de lubrificação do motor F3B	91
5.2.3	Enquadramento nos sistemas teóricos de lubrificação	100
5.3	Sistema de Lubrificação do Motor CAT 3408E	101
5.3.1	Apresentação do motor	101
5.3.2	Princípio de funcionamento do sistema de lubrificação do motor CAT 3408E	103
5.3.3	Enquadramento nos sistemas teóricos de lubrificação	107
5.4	Sistema de Lubrificação do Motor CAT 3512	109
5.4.1	Apresentação do motor	109
5.4.2	Princípio de funcionamento do sistema de lubrificação do motor CAT 3512 TA	111
5.4.3	Enquadramento nos sistemas teóricos de lubrificação	115
<b>Capítulo 6</b>	<b>Lubrificantes Utilizados e sua Monitorização</b>	<b>117</b>

6.1	Óleos Lubrificantes Especificados para os Casos Práticos de Estudo e a Respectiva Evolução	117
6.2	Monitorização dos Óleos Lubrificantes	119
6.3	Interpretação dos Resultados das Análises	132
<b>Capítulo 7</b>	<b>Conclusões</b>	<b>136</b>
7.1	Breve Resumo do Trabalho Realizado	136
7.2	Conclusões	137
7.3	Sugestões para Trabalhos Futuros	137
<b><u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u></b>		<b>139</b>

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

	Página
Figura 2.1 O motor de Rudolf Diesel	5
Figura 2.2 Motor Diesel visto em corte	9
Figura 2.3 Ciclo de trabalho de um motor a quatro tempos	12
Figura 2.4 Ciclo de trabalho de um motor a dois tempos	12
Figura 2.5 Ciclo teórico Otto em coordenadas $p - v$ e $T - S$	15
Figura 2.6 Ciclo teórico Diesel em coordenadas $p - v$ e $T - S$	15
Figura 2.7 Comparação entre o ciclo Otto teórico e indicado	17
Figura 2.8 Comparação entre o ciclo Diesel teórico e indicado	18
Figura 2.9 Comparação entre o ciclo indicado de um motor Diesel lento e um rápido	18
Figura 3.1 Modelo teórico de variação de velocidade de um fluido entre placa fixa e móvel	27
Figura 3.2 Variação da viscosidade com a temperatura para um óleo mineral	28
Figura 3.3 Definição do índice de viscosidade	29
Figura 3.4 Determinação do ponto de congelação	30
Figura 4.1 Princípio da lubrificação hidrodinâmica	51
Figura 4.2 Ilustração da lubrificação das hastes e faces de encosto das válvulas	53
Figura 4.3 Lubrificação por chapinhagem de óleo	54
Figura 4.4 Dispositivo típico de lubrificação de um motor horizontal de cárter aberto	55
Figura 4.5 Sistema de carter seco	56
Figura 4.6 Sistema de carter húmido	57
Figura 4.7 Lubrificador do cilindro	59
Figura 4.8 Exemplo de um cárter	60
Figura 4.9 Vista explodida de uma bomba de óleo de carretos	61
Figura 4.10 Bomba de rotores excêntricos	62
Figura 4.11 Princípio de funcionamento da bomba de rotores de excêntricos	63
Figura 4.12 Bomba de palhetas	63
Figura 4.13 Bomba de êmbolo	64
Figura 4.14 Válvulas reguladoras de pressão de pistão e esfera	65
Figura 4.15 Circuito de lubrificação com o filtro montado em paralelo	66
Figura 4.16 Circuito de lubrificação com o filtro montado em série	67
Figura 4.17 Comparação entre os desgastes (%) observados em diferentes partes do motor com diferentes tipos de montagem de filtros	68

Figura 4.18	Filtro metálico	69
Figura 4.19	Representação de um corte de um filtro com elemento filtrante substituível (A) e de um filtro de óleo monobloco (B)	70
Figura 4.20	Secção de um filtro centrifugo Glacier GF1	71
Figura 4.21	Representação de um conjunto de dois filtros centrífugos, um do tipo giratório e outro do tipo fixo	72
Figura 4.22	Secção esquemática de um filtro magnético	72
Figura 4.23	Vareta para controlo do nível de óleo	74
Figura 4.24	Indicador de pressão de óleo	74
Figura 4.25	Circuito eléctrico de luz avisadora de pressão de óleo	75
Figura 5.1	Esquema de codificação dos motores ligeiros da gama Daily	77
Figura 5.2	Circuito de lubrificação do motor F1C (IVECO Daily)	79
Figura 5.3	Vista em perspectiva do grupo bomba de óleo depressor	80
Figura 5.4	Vista em corte do grupo bomba de óleo depressor	80
Figura 5.5	Válvula reguladora de pressão em circuito fechado	81
Figura 5.6	Válvula reguladora de pressão em circuito aberto	81
Figura 5.7	Permutador de calor	82
Figura 5.8	Filtro de óleo	82
Figura 5.9	Galeria principal de alimentação dos canais de lubrificação	83
Figura 5.10	Lubrificação das touches, balanceiros, roletes e árvore de cames	84
Figura 5.11	Dispositivo de recolha de vapor de óleo (blow-by-centrifugo)	85
Figura 5.12	Vista explodida do dispositivo de recolha de vapor de óleo (blow-by-centrifugo)	86
Figura 5.13	Codificação dos motores pesados da gama Stralis	89
Figura 5.14	Circuito de lubrificação do motor F3B (Iveco Stralis)	91
Figura 5.15	Esquema hidráulico do grupo bomba de óleo e válvula de segurança	92
Figura 5.16	Ilustração do grupo bomba de óleo e válvula de segurança	93
Figura 5.17	Esquema hidráulico do permutador de calor	93
Figura 5.18	Grupo permutador de calor – filtro de óleo (motor CURSOR 8)	94
Figura 5.19	Grupo permutador de calor – filtro de Óleo	95
Figura 5.20	Filtro de óleo	96
Figura 5.21	Ilustração da alimentação do óleo ao motor e ao turbo compressor e compressor de ar	97
Figura 5.22	Ilustração da lubrificação dos moentes, chumaceiras da cambota e bielas	97
Figura 5.23	Ilustração da lubrificação dos cilindros e da árvore de cames	98

---

Figura 5.24	Dispositivo de travão motor	99
Figura 5.25	Esquema de funcionamento do dispositivo de recolha de vapores de óleo	99
Figura 5.26	Circuito de lubrificação do motor CAT 3408E	103
Figura 5.27	Pormenores dos filtros de óleo CAT	105
Figura 5.28	Sistema de actuação hidráulica da injeção	106
Figura 5.29	Circuito de lubrificação do motor CAT 3512 TA	111
Figura 5.30	Pormenores dos filtros de óleo CAT	113
Figura 5.31	Lubrificação e arrefecimento dos pistões	114
Figura 6.1	Viscosímetro	122
Figura 6.2	Equipamento para determinação do ponto de inflamação	123
Figura 6.3	Equipamento para determinação do teor de água (Finacheck)	124
Figura 6.4	Equipamento para determinação do teor de água (Karl Fischer).	125
Figura 6.5	Equipamento de espectro infravermelho por transformada de Fourier	125
Figura 6.6	Espectro resultante da diferença entre o espectro do óleo usado e do novo	126
Figura 6.7	Equipamento para determinação do número de basicidade total	126
Figura 6.8	Equipamento para determinação do número de acidez total	127
Figura 6.9	Equipamento para determinação da capacidade dispersante e do índice de contaminação	128
Figura 6.10	Equipamento para determinação do teor de insolúveis	129
Figura 6.11	Equipamento de espectrometria de emissão	129
Figura 6.12	Equipamento para determinação PQ index	130
Figura 6.13	Equipamento para contagem de partículas	131
Figura 6.14	Equipamento para determinação da libertação de ar	132
Figura 6.15	Relatório de diagnóstico do motor CAT 3408E - Urmáquinas	135

## **ÍNDICE DE QUADROS**

		Página
Quadro 3.1	SAE J300 – óleos para motores	34
Quadro 3.2	Índice de viscosidade dos óleos de motor multigraduados	35
Quadro 3.3	Classificação A.P.I dos óleos para motores a gasolina	37
Quadro 3.4	Classificação A.P.I dos óleos para motores diesel	38
Quadro 3.5	Grau de consistência das massas NLGI	45
Quadro 3.6	Ponto gota de massas lubrificantes	46
Quadro 5.1	Motores da gama Daily	78
Quadro 5.2	Motores da gama Cursor	88
Quadro 5.3	Motores da gama Stralis	90
Quadro 5.4	Especificações do motor 3408E	102
Quadro 5.5	Classificação dos grupos electrogéneos Diesel de 50 e 60 HZ	109
Quadro 6.1	Lubrificantes recomendados Iveco e CAT	117
Quadro 6.2	Lubrificantes recomendados Iveco e CAT há cerca de 15 anos	119
Quadro 6.3	Ensaio/ Rotinas em função da aplicação	121
Quadro 6.4	Relação quantidade de amostra versus Factor de ajuste	124
Quadro 6.5	Valores de referência para a capacidade dispersante e índice de contaminação	128
Quadro 6.6	Código ISO contagem partículas	131
Quadro 6.7	Parâmetros de avaliação para motores Diesel – Galp Energia	133





## Capítulo 1 – INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

### 1.1 - Enquadramento do Problema

Dado o papel importantíssimo que os motores diesel desempenham em variadíssimos campos da economia moderna, desde a marinha à agricultura, dos transportes terrestres à indústria, e se pensarmos na severidade de funcionamento a que estes motores estão sujeitos, torna-se evidente a importância da sua melhor e mais racional lubrificação e manutenção.

Os órgãos de um motor são constituídos por superfícies interactuantes que podem ser consideradas como macroscopicamente lisas, sendo no entanto, microscopicamente rugosas. Ao se pretender fazer deslizar entre si as duas superfícies de contacto de uma ligação móvel, elas oferecerão, naturalmente, alguma resistência a essa acção. Designa-se então essa resistência ao movimento relativo de dois corpos de atrito, e à força necessária para a vencer, nomeadamente por ruptura dos pontos de adesão de força de atrito.

A degradação das superfícies por um mecanismo de atrito como foi anteriormente referido, sendo inevitável, é portanto uma “fatalidade” do contacto mecânico. Diz-se que o desgaste é uma característica das peças mecânicas. Ele poderá ser mais ou menos controlado, conduzindo a maiores ou menores vidas úteis dos órgãos, mas será sempre um modo de degradação contínuo do equipamento.

Por outro lado, considerando que o trabalho realizado pela força de atrito ao longo do comprimento do escorregamento, é prática e integralmente convertido em calor, então é de salientar, que se não houver um controle de evacuação deste último, o consequente aumento de temperatura das superfícies de contacto, potenciará quer à ocorrência de diversas formas de desgaste derivado ao calor de atrito, quer à generalização da soldadura dos dois corpos interactuantes, fenómeno dito de gripagem de ligação.

A tradicional solução tecnológica posta em prática para se conseguir esse efeito, tem sido obtida por meio da interposição de uma adequada substância entre as superfícies interactuantes, acção essa designada por *lubrificação*, tendo qualquer que seja a substância usada para a essa finalidade a designação de *lubrificante*.

## 1.2- Objectivos

Contextualizado o problema, traçamos como objectivos para o presente trabalho o estudo e a análise da lubrificação em motores diesel.

Uma vez que o sistema de lubrificação de um motor assume o papel de sistema imprescindível, dado se encontrar directamente relacionado com o bom desempenho, prestações e longevidade do motor, procuraremos efectuar de forma clara no decorrer do presente trabalho uma abordagem, ao papel e à importância dos lubrificantes, aos mecanismos de lubrificação dos órgãos mais críticos do sistema, e aos sistemas teóricos de lubrificação, bem como aos componentes que constituem o sistema de lubrificação de um motor diesel.

Através de um caso prático de estudo, efectuaremos uma análise pormenorizada aos circuitos de lubrificação de quatro motores de combustão interna de propulsão diesel, nomeadamente CAT 3408, CAT 3512, IVECO Daily e IVECO Stralis, através dos quais, procuraremos dar resposta a duas questões fundamentais:

- Qual o enquadramento de cada um dos motores nos sistemas teóricos de lubrificação?
- Quais as razões que justificam as opções construtivas apresentadas?

De forma a obter respostas credíveis às questões formuladas, iremos recorrer à documentação disponibilizada pela CATERPILLAR e pela IVECO, bem como, sempre que possível, à experiência e know-how dos técnicos da marca.

## 1.3- Organização do Trabalho

O trabalho será constituído por 7 capítulos, onde se procurará de uma forma clara, abordar a problemática da lubrificação em motores diesel.

No capítulo 1, procuraremos enquadrar o problema e definir os objectivos a que nos propomos alcançar no decorrer do trabalho.

No capítulo 2, efectuar-se-á uma breve introdução ao motor diesel, efectuando considerações gerais sobre o seu princípio de funcionamento e ciclos de trabalho.

No capítulo 3, iremos abordar propriedades genéricas, aditivos e especificações dos óleos lubrificantes, bem como, massas lubrificantes e as suas principais características.

O capítulo 4 entra na problemática da lubrificação de motores diesel. Neste capítulo, procura-se abordar o mecanismo de lubrificação das chumaceiras dos diversos órgãos do circuito de lubrificação, efectuar-se-á uma abordagem aos diversos sistemas teóricos de lubrificação, bem como dar a conhecer os diversos componentes que constituem o sistema de lubrificação de um motor a diesel.

O capítulo 5 será referente ao caso prático de estudo. Neste capítulo, efectuar-se-á uma abordagem a quatro motores diesel de gamas distintas, procurando efectuar uma descrição pormenorizadas de cada um dos sistemas de lubrificação e seus respectivos componentes, tentar apresentar razões que justifiquem as suas opções construtivas apresentadas em cada motor, bem como, procurar enquadrar cada um dos sistemas de lubrificação com os sistemas teóricos de lubrificação, abordados no capítulo 4.

No capítulo 6, procurar-se-á efectuar uma abordagem aos óleos lubrificantes utilizados nos casos de estudo abordados no capítulo anterior, assim como, efectuar uma abordagem ao tipo de ensaios e rotinas aplicados aos óleos lubrificantes com vista à monitorização dos mesmos.

No capítulo 7 e último, procurar-se-á efectuar um breve resumo do trabalho realizado, tecer conclusões e apresentar sugestões para trabalhos a realizar futuramente.

## **Capítulo 2 – CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE MOTORES DIESEL**

Desde o seu aparecimento na terra, e impulsionado pelo seu génio criador, o homem tem-se revelado como um permanente técnico, esforçando-se por conhecer e aproveitar cada vez mais as inúmeras e imensas fontes de energia que a natureza lhe oferece.

Assim, e na sua ânsia de progresso, tem procurado transferir o seu esforço muscular aos engenhos que idealiza e constrói.

A estreita coordenação da ciência com a técnica tem facultado ao homem a hipótese de penetrar mais intimamente no mecanismo dos fenómenos naturais, permitindo-lhe dominar as fontes sempre mais eficazes de energia utilizável, as quais eram invisíveis ou inacessíveis aos seus antepassados.

A capacidade de aproveitamento dessas fontes tem evoluído continuamente. Na Idade Média, a técnica humana já aproveitava a força motora dos rios e dos ventos, através das velhas rodas de água e moinhos de vento, cujos aperfeiçoamentos foram muito lentos até fins do século XVIII, quando então surgiram as primeiras turbinas hidráulicas.

Ainda no século XVIII surgiu a máquina a vapor alternativa que deu origem ao formidável desenvolvimento mecânico de nossos dias.

Já no século XIX apareceram as turbinas a vapor, as quais eram dispositivos capazes de utilizar o vapor com um rendimento muito superior ao obtido com as máquinas alternativas. Mas a maior conquista humana naquele século manifestou-se, sem dúvida, pelo aparecimento dos motores de combustão interna do tipo alternativo, que proporcionaram uma revolução industrial de importância igual senão superior à que foi provocada no século XVIII pelo aparecimento da máquina a vapor alternativa.

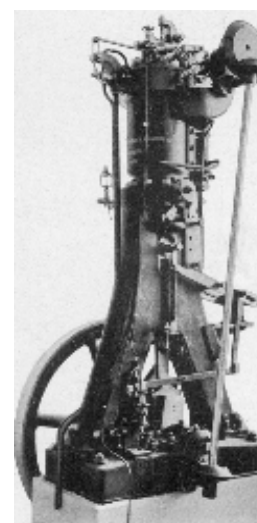
### **2.1 – O Motor Diesel**

Se historicamente Carl Benz é considerado como o pai do automóvel, tendo em 1885 construído o primeiro motor a quatro tempos de ignição por intermédio de faísca eléctrica (velas de ignição), há que remontar cerca de vinte anos, para encontrarmos as primeiras experiências sobre motores de combustão interna.

Foi no ano de 1860 em que o Belga, Etienne Lenoir construiu o que pode ser considerado como o primeiro modelo prático de um motor de combustão interna industrial, sendo este um motor de duplo efeito, sem compressão prévia, e alimentado a gás. Lenoir abriu assim a porta para a evolução, estabelecendo uma série de princípios técnicos que permaneceriam imutáveis até há bem poucos anos.

Um pouco mais tarde, já em 1878, apareceu um motor com compressão prévia, de ciclo a quatro tempos, construído por Nicholas Otto, de acordo com os princípios termodinâmicos definidos em 1862 por Beau de Rochas. O combustível utilizado foi, o gás de carvão, sendo a ignição pela primeira vez efectuada por intermédio de faísca eléctrica.

Todavia, em 1892 o Dr. Rudolf Diesel, engenheiro alemão nascido em Paris, apresentou ao mundo através de um estudo publicado sob o título “A Teoria e a Construção de um Económico Motor Térmico”, o seu motor, que funcionava segundo um novo ciclo, hoje conhecido como ciclo Diesel. Esse motor, que Diesel denominou de “Motor Térmico Racional”, passou a chamar-se de Motor Diesel em homenagem ao seu inventor.



**Fig. 2.1** – Motor de Rudolf Diesel

A combustão seria controlada a fim de que todo o calor libertado da mesma se transformasse em trabalho útil, prevendo Rudolf Diesel que durante a combustão não haveria elevação da temperatura, além da obtida no final da compressão. Prevvia ainda Diesel uma expansão adiabática dos gases queimados após a combustão, isto é, os mesmos não trocariam calor com o exterior. Supunha Diesel que seria até possível prescindir da água de refrigeração e que a temperatura dos gases de escape fosse igual à do ambiente.

Com base no estudo apresentado, Rudolf Diesel construiu em 1893 o seu primeiro modelo experimental que não funcionou, sendo que, um ano mais tarde foi igualmente experimentado um outro modelo com ligeiras modificações e que explodiu durante a fase de testes.

Foi em 1897 que funcionou o primeiro motor Diesel, apresentando já um rendimento térmico de cerca de 27%. Apesar de alguns insucessos iniciais, essencialmente devidos aos materiais disponíveis nos fins do século XIX, e principalmente devido ao não conhecimento por completo

dos esforços desenvolvidos pelo motor quando em funcionamento, o invento de Rudolf Diesel impôs-se muito rapidamente, tendo inclusive sido largamente utilizado nas primeiras décadas, contudo apenas como motores estacionários e navais, derivado do seu excessivo peso.

O motor Diesel surgia assim no fim do século XIX como um motor de auto-ignição por compressão, que em comparação com os até então existentes motores de explosão de ciclo Otto, apresentava como principal vantagem o facto de consumir muito menos e de poder funcionar com um combustível relativamente barato, sendo ainda possível de alcançar potências muito superiores.

Contudo, o seu grande inconveniente face aos já existentes motores de combustão de ciclo Otto, resultava da impossibilidade de alcançar regimes de elevadas rotações, tendo como seu maior obstáculo, o sistema de alimentação de combustível ao motor. O método de injeção utilizado, mediante uma bomba de ar comprimido, não permitia incrementar adequadamente o regime de rotação, além do que exigia uma instalação complexa, o que se tornava praticamente impossível de reduzir o tamanho e peso dos motores, razão pela qual condicionou durante quase 25 anos a sua aceitação como alternativa incontestável.

É só finais de 1922, por intermédio de Robert Bosch, que se desenvolve um sistema de injeção para motores Diesel. As condições técnicas eram favoráveis, uma vez que se dispunha de experiência em motores de combustão, as tecnologias de produção haviam alcançado um alto nível de desenvolvimento e acima de tudo podia-se aplicar conhecimentos adquiridos na fabricação de bombas de óleo.

No início de 1923 já se haviam projectado uma dezena de bombas e em meados de 1923 realizaram-se os primeiros ensaios em motor. O mundo técnico começava a contar cada vez mais com a aparição da bomba de injeção, da qual se esperava um novo impulso para a construção de motores Diesel.

Por fim, no verão de 1925 realizaram-se os últimos acertos técnicos ao projecto definitivo, e em 1927 saíram da fábrica as primeiras bombas produzidas em série. Esta bomba de injeção desenvolvida por Robert Bosch proporcionou ao motor de Rudolf Diesel, a velocidade desejada, proporcionando um êxito imprevisto.

Hoje, e cerca de 115 anos passados sobre a sua criação, o moderno motor Diesel não é mais do que o resultado de um conjunto de invenções e aperfeiçoamentos sucessivos, que pelas suas inúmeras vantagens decorrentes dos seus elevados desempenhos, se encontram

praticamente em todas as aplicações em que se deseje energia com vista a vantagens económicas.

Assim, e de acordo com os seus campos de aplicação, os motores Diesel são classificados em 4 tipos básicos:

Estacionários:

Destinados ao accionamento de máquinas estacionárias, tais como Geradores, máquinas de solda, bombas ou outras máquinas que operam em rotação constante;

Industriais:

Destinados ao accionamento de máquinas de construção civil, tais como tractores, carregadoras, guindastes, compressores de ar, máquinas de mineração, veículos de operação fora-de-estrada, accionamento de sistemas hidrostáticos e outras aplicações onde se exijam características especiais específicas do accionador;

Veiculares:

Destinados ao accionamento de veículos de transporte em geral, tais como camiões e camionetas de transporte de passageiros;

Marítimos:

Destinados à propulsão de barcos e máquinas de uso naval. Conforme o tipo de serviço e o regime de trabalho da embarcação, existe uma vasta gama de modelos com características apropriadas, conforme o uso. (Laser, trabalho comercial leve, pesado, médio-contínuo e contínuo).

Além dos segmentos de aplicações, os motores Diesel podem ser classificados pelo tipo de sistema de arrefecimento que utilizam, normalmente a água ou a ar e pelo número e disposição dos cilindros, que normalmente são dispostos em linha, quando os cilindros se encontram numa única fileira, ou em V, quando os cilindros são dispostos em fileiras oblíquas.

As diferenças básicas entre os diversos tipos de motores Diesel residem, essencialmente, sobre os sistemas que os compõem. Todos funcionam segundo as mesmas leis da termodinâmica, porém as alterações de projecto que se efectuam sobre os sistemas e seus componentes resultam em características de operação que os tornam adequados para aplicações diferentes.



Os sistemas que constituem os motores Diesel são:

- Sistema de admissão de ar;
- Sistema de combustível, onde se incluem os componentes de injeção de óleo Diesel;
- Sistema de lubrificação;
- Sistema de arrefecimento;
- Sistema de exaustão ou escape dos gases;
- Sistema de arranque;

O motor, propriamente dito, é composto de um mecanismo capaz de transformar os movimentos alternativos dos pistões em movimento rotativo da cambota, através da qual se transmite energia mecânica aos equipamentos accionados. Este subdivide-se nos seguintes componentes principais:

#### Bloco do motor:

Onde se alojam os conjuntos de cilindros, compostos pelos pistões com anéis de segmento, camisas, bielas, cambota, árvore de cames para comando de válvulas, e respectivas chumaceiras. Na grande maioria dos motores o bloco é construído em ferro fundido e maquinado para receber a montagem dos componentes. Grandes motores navais têm bloco construído em chapas de aço soldadas e alguns motores de pequeno porte têm bloco de liga de alumínio.

#### Cabeça do motor:

Funciona, essencialmente, como "tampão" para os cilindros que engloba os mecanismos das válvulas de admissão e de escape, bicos injectores e canais de circulação do líquido de arrefecimento. Dependendo do tipo de construção do motor, as cabeças podem ser individuais, quando existe uma para cada cilindro, ou múltiplas, quando englobam mais do que um cilindro.

#### Carter:

É o reservatório do óleo lubrificante utilizado pelo sistema de lubrificação. É construído em ferro fundido, liga de alumínio ou chapa de aço estampada. Em alguns motores o cárter é do tipo estrutural, formando com o bloco uma estrutura rígida que funciona como chassis da máquina, como se vê em alguns tractores agrícolas.

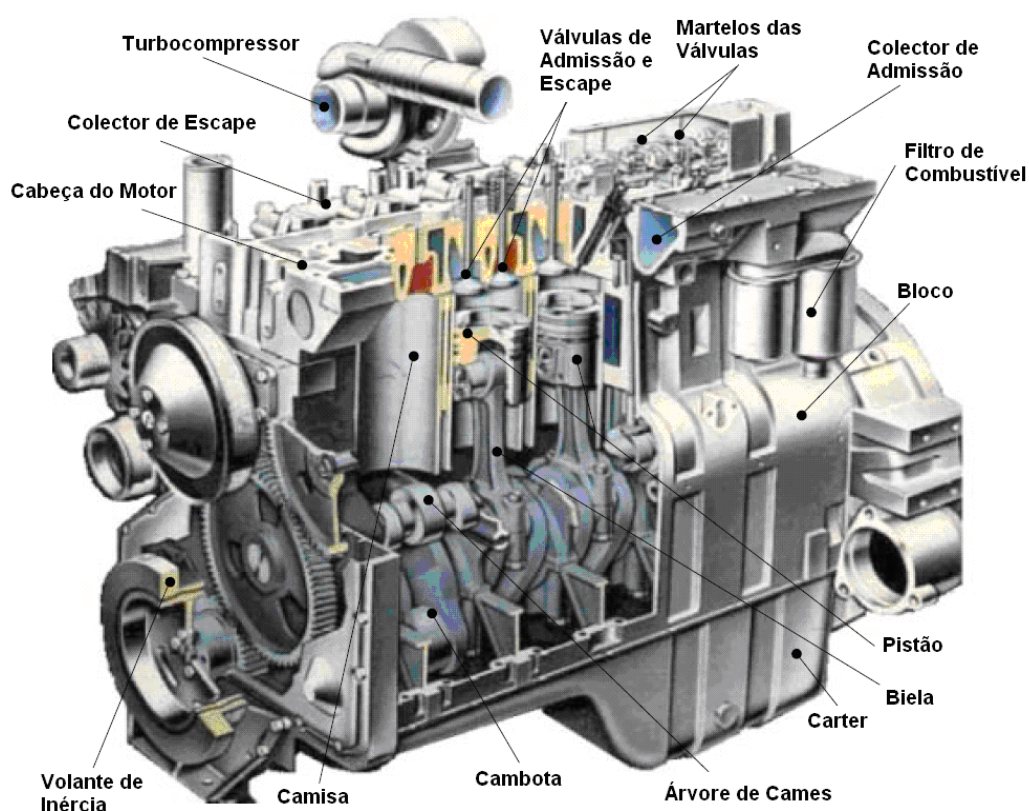
Secção frontal:

A secção frontal é onde se alojam as engrenagens de distribuição de movimentos para os acessórios externos, tais como bomba de água, ventoinha de arrefecimento, alternador e para sincronismo da bomba de combustível e árvore de cames.

Secção traseira:

É onde se encontram o volante de inércia e a respectiva cloche, para montagem do equipamento accionado.

Todos os cuidados de manutenção preventiva concentram-se sobre os sistemas do motor. O mecanismo principal apenas recebe manutenção directa por ocasião das revisões gerais, quando é totalmente desmontado, ou se eventualmente necessitar de intervenção para manutenção correctiva, em caso de acidente. No caso dos componentes sujeitos a desgaste, a sua durabilidade e performance dependem unicamente dos cuidados que forem dispensados aos sistemas.



**Fig. 2.2** – Motor Diesel visto em corte

## **2.2 – Princípio de Funcionamento dos Motores Alternativos**

Os motores alternativos de combustão interna são mecanismos que têm por finalidade transformar a energia térmica proveniente da química do combustível e do comburente em trabalho mecânico.

Os motores alternativos podem classificar-se:

- a) Segundo o ciclo de trabalho:
  - Motores a 4 tempos;
  - Motores a 2 tempos.
- b) Segundo o sistema de ignição:
  - Motores de ignição por faísca;
  - Motores de ignição por compressão.
- c) Segundo o sistema de admissão de combustível:
  - Motores a carburação;
  - Motores a injeção.
- d) Segundo o sistema de alimentação:
  - Motores de aspiração natural;
  - Motores sobrealimentados.

### **2.2.1 – Ciclo de trabalho**

O ciclo de trabalho é a sequência a que se submete, dentro do cilindro, uma porção de combustível e comburente, a fim de que essa porção liberte a energia térmica. O ciclo é composto por tempos, classificados conforme a operação a que é submetida a carga de combustível e comburente.

#### **2.2.1.1 – Motores a quatro tempos**

Nos motores a quatro tempos um ciclo de trabalho estende-se por duas rotações da árvore de manivelas, ou seja, quatro cursos do pistão.

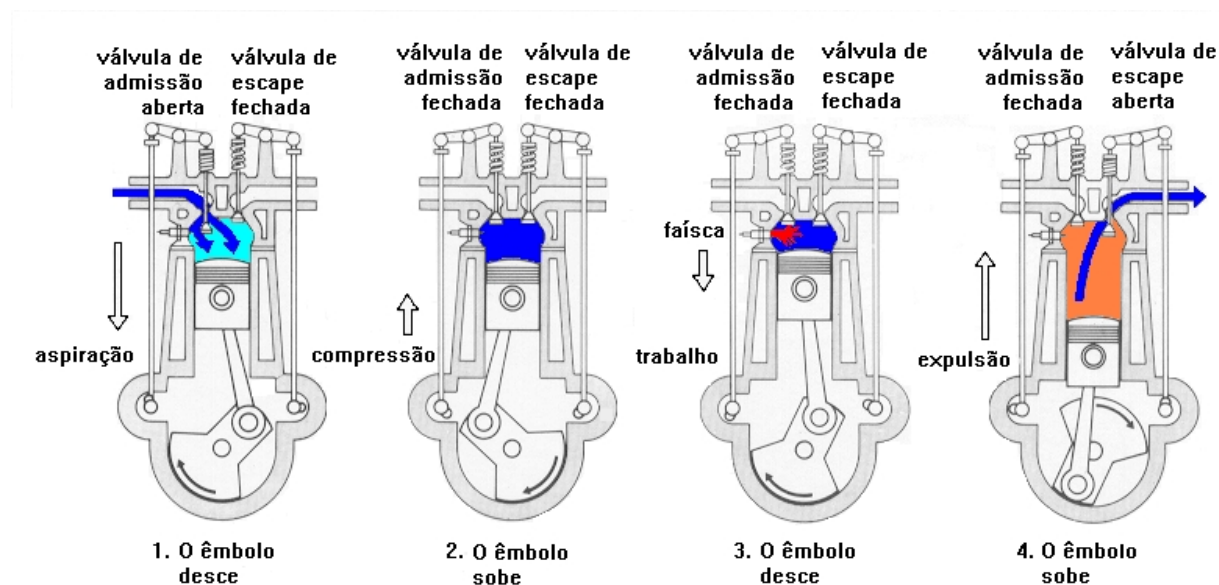
No *primeiro tempo ou tempo de aspiração*, com a válvula de admissão aberta e o êmbolo em movimento descendente, o cilindro é cheio com ar puro. Esse enchimento poderá ser feito por aspiração simples provocada pelo movimento do êmbolo ou então, mediante o fornecimento de ar a determinada pressão (sobrealimentação).

No *segundo tempo ou tempo de compressão*, com as válvulas fechadas, o êmbolo, no seu curso ascendente, comprime o ar no interior do cilindro. Como consequência da compressão, há uma grande elevação de temperatura do ar, atingindo valores em torno de 550°C. Quando o êmbolo se encontra próximo do final da compressão, o combustível começa a ser injectado sob altíssima pressão e, entrando em contacto com o ar altamente aquecido, queima-se espontaneamente à medida que vai sendo injectado.

No *terceiro tempo*, designado como *tempo de expansão ou tempo motor*, a queima do combustível, iniciada no final do segundo tempo, continua até que todo o combustível seja injectado. Conforme o combustível vai sendo injectado, a queima vai se processando elevando a temperatura a cerca de 1.700°C, enquanto a pressão máxima atinge valores próximos de 70 atm. Após a combustão, os gases resultantes da queima expandem-se e impulsionam o êmbolo; esse impulso é cinematicamente transmitido à cambota, de onde se recolhe a energia mecânica.

No *quarto tempo ou tempo de escape*, pouco antes de o embolo atingir o final do curso motor, a válvula de escape, accionada mecanicamente, abre-se, fazendo com que a pressão dos gases queimados baixe até a atmosférica. Com a válvula de escape aberta, e o êmbolo em curso ascendente, é efectuada a expulsão dos gases residuais da combustão. Pouco antes de o êmbolo atingir o final do curso ascendente, a válvula de admissão abre-se, dando início a um novo ciclo de trabalho.

Durante os quatro tempos do motor ou duas rotações da cambota, apenas se transmite trabalho ao pistão uma única vez. Para fazer com que as válvulas de admissão e escape funcionem correctamente, abrindo e fechando as candutas nos momentos exactos, a árvore de comando de válvulas (ou árvore de cames) gira a meia rotação do motor, completando uma volta a cada ciclo de quatro tempos.



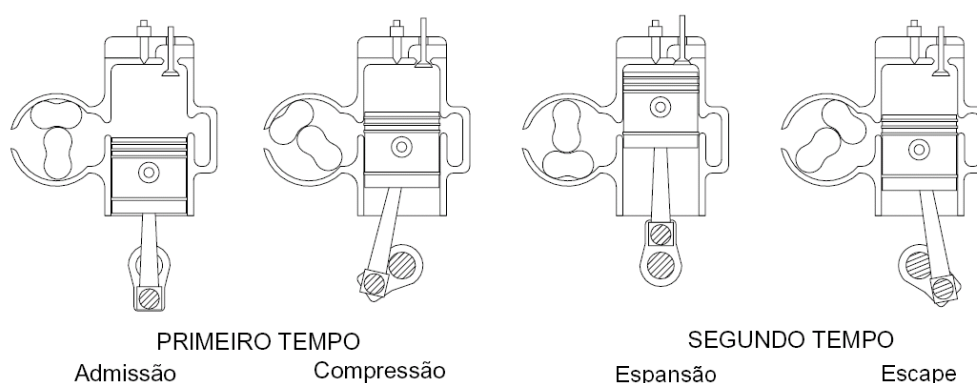
**Fig. 2.3** – Ciclo de trabalho de um motor a quatro tempos

### 2.2.1.2 – Motores a dois tempos

Nos motores a dois tempos o ciclo a que são submetidos o combustível e o comburente, dá-se apenas em dois cursos do êmbolo.

O *curso ascendente ou primeiro tempo* compreende as operações de expulsão final ou lavagem dos gases queimados do ciclo anterior, a admissão de ar puro ao cilindro e em seguida, a compressão do mesmo.

No *curso descendente do êmbolo ou segundo tempo*, temos a combustão e expansão dos gases, bem como o início do escape dos gases resultantes da queima.



**Fig. 2.4** – Ciclo de trabalho de um motor a dois tempos

Alguns dos motores Diesel de dois tempos do tipo simples não possuem válvulas, sendo o ar introduzido no cilindro por janelas de admissão, as quais ficam descobertas quando o êmbolo se encontra próximo do PMI (ponto morto superior). A admissão do ar puro ao cilindro é feita a uma pressão ligeiramente superior à pressão atmosférica, o que se consegue através do carter, funcionando como um compressor de ar auxiliar, ou por um compressor de ar externo, accionado directamente pelo motor. (Rahde, 2003)

Como nota final podemos concluir que, como vantagem, o motor de dois tempos, com o mesmo dimensionamento e r.p.m (rotações por minuto), fornece uma maior potência que o motor de quatro tempos, bem como um torque mais uniforme. Contudo, e como desvantagens verificamos que possuem um menor poder calorífico com um consumo de combustível relativamente elevado; carga calorífica consideravelmente mais elevada que num motor de quatro tempos, de igual dimensionamento.

### **2.2.2 – Motores de ignição por faísca**

Os princípios teóricos, segundo os quais a combustão se realiza a volume constante, foram enunciados por Beau de Rochas em 1862 e postos em prática por Otto em 1878, conforme anteriormente já referido.

Actualmente costuma-se designar aos motores de Ignição por Faísca, por motores de ciclo Otto, sendo que a esta classe pertencem a maior parte dos motores automóveis, uma grande parte dos motores para veículos industriais, todos os motores de aviação e uma boa parte dos motores para aplicações náuticas e agrícolas.

O motor de Ignição por Faísca funciona tanto a 4 tempos como em 2 tempos, sendo que, o ciclo de 2 tempos é pouco usado, dado que através do escape se perde uma boa parte da mistura de combustível, o que resulta num elevado consumo do mesmo.

A grande maioria dos motores de Ignição por Faísca funciona assim segundo um ciclo operativo a 4 tempos, sendo o ciclo a 2 tempos apenas adoptado em veículos especiais, tais como motos, veículos de competição, etc.

Os combustíveis utilizados nos motores de Ignição por Faísca são a gasolina, e hidrocarbonetos de alto poder calorífico que se evaporam facilmente. Podem também utilizar-se combustíveis gasosos ou gases liquefeitos, contudo o seu uso é pouco prático e por tanto muito menos difundido.

### **2.2.3 – Motores de ignição por compressão**

O primeiro motor de ignição Diesel foi criado por Rudolf Diesel em 1897. Segundo um ciclo que adoptou o nome do seu criador, a combustão é realizada a pressão constante.

Os combustíveis são hidrocarbonetos líquidos, de características inferiores à dos carburantes usados nos motores de ignição por faísca, bem como, menos voláteis. Tendo uma densidade maior, são comumente designados por combustíveis líquidos pesados. O tipo mais conhecido, por ser o mais usado nos veículos automóveis é o gasóleo, e a sua alimentação é realizada exclusivamente por injeção.

Os motores de ignição por compressão estão próximos, por importância e variedade de aplicação, dos motores de ignição por faísca, dado pertencerem à sua gama, os grandes motores Diesel lentos para instalações fixas ou navais, e motores Diesel rápidos aplicados em locomoção terrestre e embarcações ligeiras.

Há ainda que considerar dentro dos motores de ignição por compressão os motores Semi-Diesel, também designados por motores de cabeças incandescente. Estes tiveram apenas escassas aplicações no campo das instalações fixas, em tractores agrícolas e em alguns tipos de embarcações, contudo, actualmente praticamente desapareceram, tendo sido suplantados pelos motores Diesel rápidos e pelos motores do tipo de ignição por faísca.

Os motores de ignição por compressão funcionam tanto a 4 tempos como a 2 tempos. Os motores a dois tempos, e ao contrário dos motores de ignição por faísca, não apresentam consumos superiores aos dos motores a 4 tempos, o que se deve ao facto de o tempo de admissão e lavagem dos cilindros apenas se efectuar com ar puro e não com mistura de combustível.

### **2.3 – Ciclos Teóricos dos Motores Alternativos**

Durante a sua passagem pelo interior do motor, o fluido de trabalho é submetido a uma série de transformações químicas e físicas (compressão, expansão, combustão, transferência de calor através das paredes, etc.) que constituem o ciclo do motor. Um exame quantitativo destes fenómenos, tem em conta todas as numerosas variáveis, representando um problema muito complicado, pelo que se tende a simplificar, recorrendo a sucessivas aproximações teóricas, cada uma das quais baseada em diferentes pressupostos simplificativos.

### 2.3.1 – O ciclo Otto teórico

O ciclo Otto teórico é um ciclo ideal de um motor de ignição por faísca, estando representado na figura 2.5 tanto em coordenadas  $p-v$  como em coordenadas  $T-S$ . Os processos termodinâmicos que têm lugar durante o ciclo são:

- 1 – 2 *Compressão Adiabática* (sem transferência de calor com o exterior) do fluido de trabalho;
- 2 – 3 Introdução instantânea de calor a *Volume Constante*;
- 3 – 4 *Expansão Adiabática* do fluido de trabalho;
- 4 – 1 Extracção instantânea de calor a *Volume Constante*.

Na realidade nos motores a 4 tempos a extracção de calor é produzida no curso de escape 1–0 e o fluido é introduzido no motor no curso de admissão 0–1. Este efeito representa-se graficamente no diagrama  $p-v$  mediante uma linha horizontal, que não se pode representar no diagrama  $T-S$ .

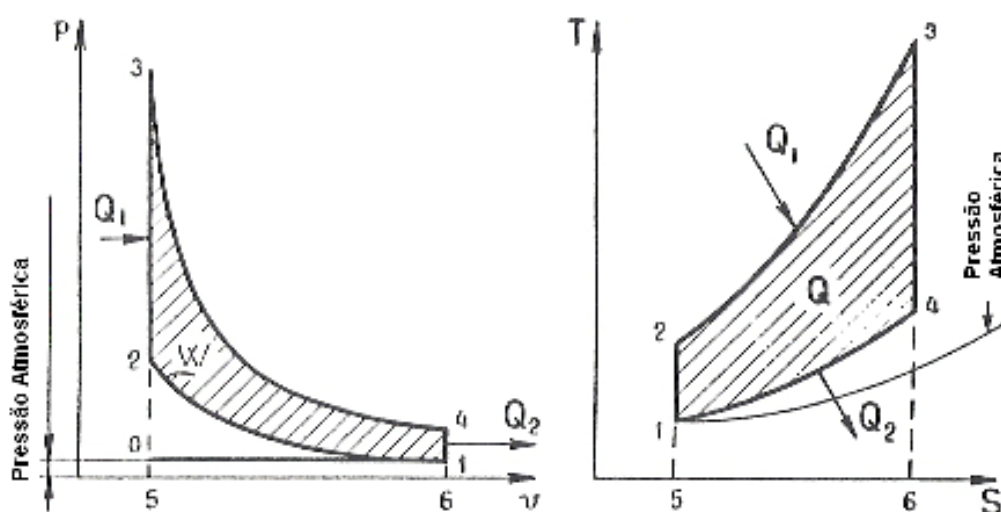


Fig. 2.5 – Ciclo teórico Otto em coordenadas  $p-v$  e  $T-S$

### 2.3.2 – O ciclo Diesel teórico

O ciclo Diesel teórico é o ciclo teórico dos motores de ignição por compressão. A diferença fundamental entre os ciclos Otto e Diesel está na fase de introdução de calor. No ciclo Otto o calor é introduzido a volume constante, enquanto no ciclo Diesel é introduzido a pressão constante.

Segundo Giacosa, outra diferença nos ciclos está no valor da taxa de compressão. Para os motores Diesel varia entre 14 a 22, enquanto nos motores de ciclo Otto varia entre 6 a 10.



Conforme se pode ver na Figura 2.6, os processos termodinâmicos que têm lugar durante o ciclo são:

- 1 – 2 *Compressão Adiabática* (sem transferência de calor com o exterior);
- 2 – 3 Introdução de calor a *Pressão Constante*;
- 3 – 4 *Expansão Adiabática* do fluido de trabalho;
- 4 – 1 *Extracção de calor a Volume Constante*.

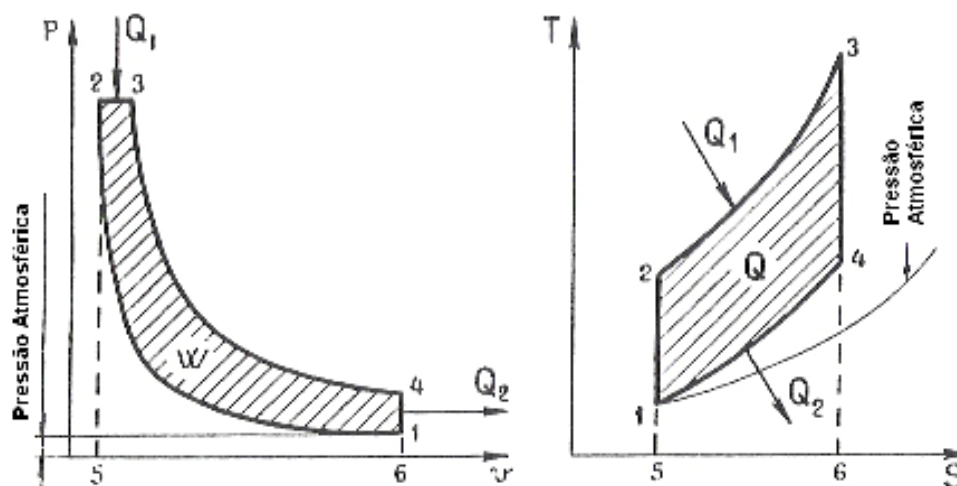


Fig. 2.6 – Ciclo teórico Diesel em coordenadas  $p - v$  e  $T - S$

## 2.4 – Ciclos Reais dos Motores Alternativos

O ciclo real reflecte as condições reais de funcionamento de um motor, e identifica-se com o diagrama de pressões medidas no cilindro, correspondentes às diferentes pressões do pistão.

### 2.4.1 – Diferenças entre o ciclo Otto real e teórico

Entre o ciclo indicado e o correspondente ciclo teórico existem diferenças substanciais tanto na forma do diagrama como nos valores das temperaturas e pressões.

Segundo Heywood as causas das diferenças devem-se às seguintes razões:

- a) Perdas de calor – No ciclo teórico supõe-se que são nulas, contudo no ciclo real variam de forma considerável. Dado que o cilindro e a manivela são refrigerados, uma parte desse calor é transmitida pelo fluido às paredes;
- b) Combustão Instantânea. – No ciclo teórico supõe-se que a combustão se realiza a volume constante, ou seja, de forma instantânea, contudo no ciclo real reque um certo período de tempo.

- c) Tempo de Abertura da Válvula de Escape – no ciclo teórico supõe-se que a extracção de calor é efectuada de forma instantânea, coincidindo com a posição do pistão no PMI (ponto morto inferior). No ciclo real a extracção de calor processa-se durante um período relativamente longo: a válvula de escape deve abrir-se antecipadamente de forma a dar tempo de parte dos gases queimados saírem antes que o pistão alcance o PMI, de modo que a pressão desça até aproximadamente o valor da pressão exterior até ao início do curso de escape.

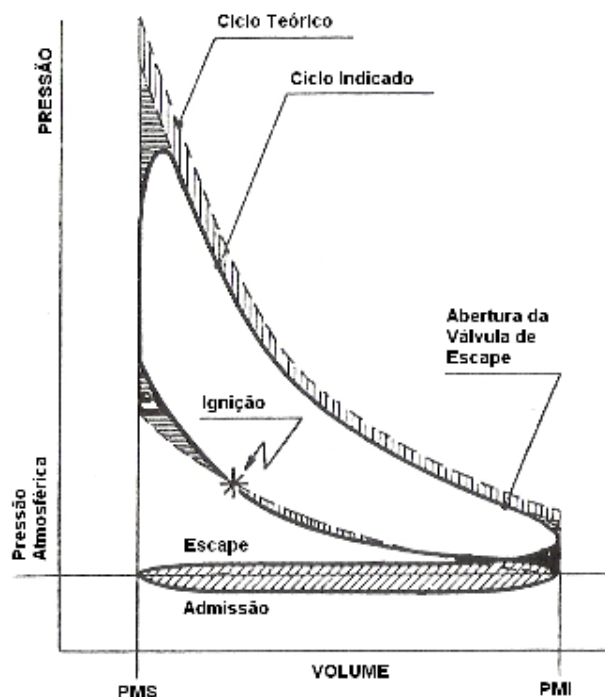
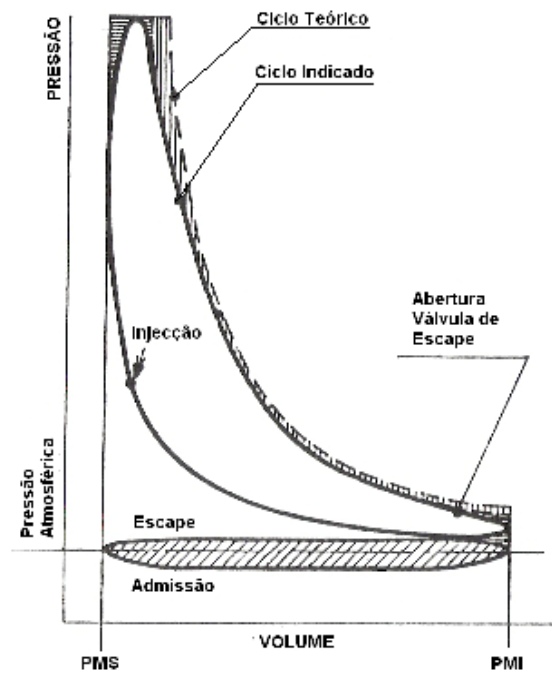


Fig. 2.7 – Comparação entre o ciclo Otto teórico e indicado

#### 2.4.2 – Diferenças entre o ciclo Diesel real e teórico

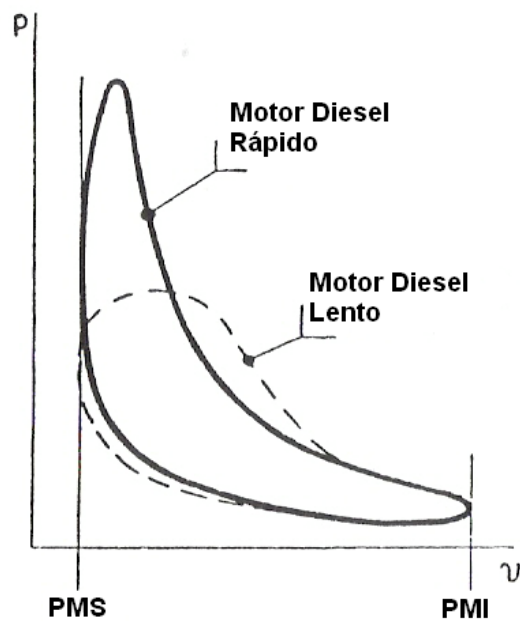
Tal como no caso do ciclo Otto, entre o ciclo real e o ciclo teórico Diesel existem diferenças de forma, bem como, diferenças de pressões e temperaturas. Algumas dessas diferenças são como as verificadas no ciclo Otto, tais como, as devidas à variação dos calores específicos, às perdas de calor, o tempo de abertura das válvulas de escape.

Existe contudo uma diferença que é específica do motor Diesel, e que se deve à combustão, e que no caso do ciclo real não se realiza a pressão constante, conforme se pode verificar na figura 2.8. Na prática a combustão realiza-se em condições tais que a pressão varia durante o processo, enquanto que no ciclo teórico havíamos admitido que tal se mantinha constante. Na realidade a combustão realiza-se em parte a volume constante e em parte a pressão constante.



**Fig. 2.8** – Comparação entre o ciclo Diesel teórico e indicado

Segundo Giacosa, apenas nos casos dos motores muito lentos a combustão se processa de maneira um pouco mais próxima do ciclo teórico, conforme se pode verificar na figura 2.9.



**Fig. 2.9** – Comparação entre o ciclo indicado de um motor Diesel lento e um rápido

## 2.5 – Resenha Bibliográfica

Desde 1878 quando Otto desenvolveu o primeiro motor de ignição por faísca e 1892 em que Diesel inventou o motor de ignição por compressão, que os motores de combustão interna têm continuado a desenvolver-se, assim como o conhecimento em torno dos seus processos, à medida que novas tecnologias se tornam disponíveis como exigência do desenvolvimento de novos tipos de motores.

Desde então, os motores de combustão interna, e a indústria que os desenvolve, manufactura e fornece suporte ao seu uso, têm desempenhado até aos dias de hoje um papel dominante nos campos da potência, propulsão e energia, sendo que, nos últimos vinte e cinco anos sensivelmente, se tem assistido a um crescimento explosivo na pesquisa e desenvolvimento dos mesmos, tendo como principal preocupação a redução de emissões atmosféricas, e de custos associados ao consumo de combustíveis, bem como à própria competitividade do mercado que se tem tornado deveras importante.

Heywood (1989), baseando-se na vasta e complexa literatura técnica que governa os princípios fundamentais de projecto e operação dos motores de combustão interna, procurou de forma simples, abordar algumas das mais relevantes referências bibliográficas que até hoje existe sobre motores de ignição por faísca e por compressão, procurando incluir detalhe suficiente para transportar este pragmático campo da engenharia teórica para à prática.

Certo de que nenhuma referência possa conter tudo sobre motores, Heywood na sua obra dá ênfase à termodinâmica, física e química da combustão, fluxo de fluidos, transferências de calor, fricção, processos de lubrificação relevantes para o projecto de um motor de combustão interna, performance, eficiência, emissões e combustíveis requeridos.

À semelhança da obra Heywood, Giacosa (1988) procura igualmente abordar de forma pormenorizada o Princípio de funcionamento dos motores alternativos, seus ciclos teóricos e reais de funcionamento, tipo de combustíveis e fluidos de trabalho, cálculo de potência, rendimento e balanço térmico, prestações dos motores e factores que as influenciam, bem como o sistema de ignição.

Numa perspectiva de ensino mais técnica, Crouse e Anglin (1994), Brady (1995), Garrett, Newton e Steeds (1998), Ariaz-Paz (1998), Estévez (1995), bem como Reveu Technique (1973) procuram dar uma visão global do automóvel, abordando de uma forma mais específica a temática da tecnologia moderna dos motores de combustão interna, sejam eles de ignição ou

de compressão, focando além do seu já conhecido princípio de funcionamento, os diversos sistemas que os constituem, de entre os quais o sistema de lubrificação, abordando de forma detalhada os seus componentes e a sua importância no bom desempenho do mesmo. Tratando-se de referências relativamente recentes, surgem como mais valias, pois permitem a inclusão de informação dita actual, suscitando à natural comparação da mesma face à literatura técnica mais antiga, mas não menos importante.

Sendo enorme a quantidade de literatura e publicações técnica que actualmente existem, é contudo muito reduzido, o número das que conseguem reunir a informação numa linguagem clara e acessível, devidamente compilada e sumariada para que assim possa ser uma mais valia para todos aqueles que dela se procuram servir.

Móbil (1976) em “A Lubrificação e Manutenção de Motores Diesel” afirma mesmo que a promoção de trabalhos com tais características, sobre as matérias da especialidade deveria ser um serviço utilidade pública. Assim, e numa linguagem clara e acessível, procura na sua obra promover os princípios fundamentais de funcionamento e os sistemas que constituem o motor diesel, abordando o desgaste, as suas principais causas e peças mais sujeitas ao mesmo, métodos e sistemas de purificação de combustível e lubrificante, bem como, operações de manutenção.

É igualmente desse prisma que obras como as de Rahde (2003), Santos (1996), etc, que não sendo documentos de referência no panorama da literatura técnica, julgo que conseguem dar um contributo muito válido para a realização deste trabalho, dado compilarem informação muito válida constante em obras de referência anteriormente mencionadas, explicitando-a de forma sintética e objectiva.

## Capítulo 3 – LUBRIFICANTES E SUAS PROPRIEDADES

Se por um lado o mundo em que vivemos não podia subsistir sem a existência dos fenómenos de atrito, de tal forma que a estabilidade dos materiais, ou a possibilidade de movimentos controlados, dele dependem, por outro lado não se pode conceber o funcionamento de nenhuma máquina, desde o mais minúsculo mecanismo ao maior motor de centenas de cavalos de potência, sem se admitir a existência de meios para reduzir o atrito, isto é, de lubrificação.

Os lubrificantes são, portanto, elementos vitais e indispensáveis ao funcionamento das máquinas, sendo a lubrificação um problema universal no campo da técnica e, mais do que isso, um problema permanente.

### 3.1 – Breve Panorâmica das Obras Abordadas

Quando nos debruçamos sobre como ultrapassar a fricção entre dois pares cinemáticos, temos de remontar à idade média e ao trabalho desenvolvido por Leonardo da Vinci.

Segundo Wikipedia, foi em 1508 na obra intitulada de “*Codice Atlantico*” que Leonardo da Vinci demonstra experimentalmente ao medir a força de fricção em superfícies horizontais e inclinadas, um novo conceito, denominado de coeficiente de fricção ou de atrito, que não é mais do que a razão entre a força de Fricção  $F$  que é necessária vencer para mover um corpo em relação a outro, e a carga normal aplicada  $P$ ; ( $\mu=F/P$ ). Sua experiências quantitativas eventualmente permitiram-lhe concluir que “ todo o corpo possui uma resistência à fricção igual a um quarto do seu peso”, aproximação essa que não é muito longe dos standards modernos utilizados cerca de 500 anos mais tarde.

Contudo, e após grande contributo de outros cientistas como Amontons em 1699, Euler em 1748, e Coulomb em 1809, é apenas por volta da década de sessenta do século XX que se chega à conclusão que era absolutamente necessário dar coerência ao tratamento científico e tecnológico dos problemas relacionados com superfícies interactuantes em movimento relativo, surgindo assim um novo ramo da ciência, hoje denominado como tribologia.

Neale (1973), afirma mesmo que a tribologia está preocupada na compreensão da maioria das superfícies técnicas que se movem e contactam entre si ou com outros materiais, procurando desta forma justificar a pertinência da sua obra, que pretende ajudar projectistas e

engenheiros, ao fornecer sob a forma de um handbook de linguagem fácil e bastante bem organizado por temáticas, o seu conhecimento e experiência tecnológica.

Muitas são as definições em torno do conceito da Tribologia e da sua abrangência. Segundo Ferreira (1998) a Tribologia é a ciência e a técnica do atrito, do desgaste e suas consequências, pelo que segundo o próprio, assume uma importância considerável na conservação da energia e das matérias-primas.

Na sua obra “Tribologia”, Ferreira efectua uma abordagem de carácter científico bastante detalhada e vasta sobre temáticas como o Estado Geométrico das Superfícies, o Atrito e o Desgaste dos materiais, a Lubrificação, os Lubrificantes e suas propriedades fundamentais, efectua uma Análise pormenorizada dos diversos tipos de lubrificação de chumaceiras, bem como, projecto e selecção das mesmas, pelo que, dado o seu vasto campo de estudo acaba por ser uma obra de consulta bastante transversal.

Com o desenvolvimento da ciência e tecnologia da fricção, a lubrificação, assume-se como uma das áreas mais relevantes em estudo, dado ser o meio mais eficaz de reduzir o atrito e controlar o desgaste. Desde então inúmeros são os trabalhos que têm sido publicados neste domínio, atestando a sua relevância científica e tecnológica, já que são muitos os órgãos de máquinas cujo desempenho está directamente relacionado com uma boa realização da mesma.

Mobil (1976) considera mesmo que sendo a máquina nos dias que correm a mola real do mundo, os conhecimentos fundamentais sobre lubrificantes e lubrificação, assumem um papel imprescindível ao bom funcionamento e à integridade do equipamento.

No que diz respeito aos lubrificantes, Mobil efectua uma abordagem aos óleos e massas lubrificantes, nomeadamente às suas características físico químicas, aditivos e ensaios de avaliação. No que concerne à lubrificação, aborda princípios fundamentais da lubrificação, lubrificação de chumaceiras, assim como sistemas e dispositivos de aplicação.

Sendo uma publicação técnica, consegue reunir numa linguagem clara e acessível os princípios essenciais e noções básicas de aplicação prática no campo dos lubrificantes e da lubrificação.

O conceito de lubrificação, apesar de vários autores o descreverem de maneiras diferentes, acaba por ser algo consensual. Castrol (2007) define a lubrificação como a aplicação uma

substância (lubrificante) entre duas superfícies em movimento relativo, de forma a criar uma película, que evite o contacto directo entre as superfícies, promovendo diminuição do atrito, e consequentemente do desgaste e da geração de calor.

Ao comparar o motor de um veículo ao coração humano e o óleo, ao sangue bombeado por ele, Castrol procura justificar que um não funciona sem o outro, alertando assim para a importância do lubrificante e da sua escolha acertada.

Ipiranga (2007) reforça dizendo que o meio ambiente preferido da lubrificação é geralmente a área de atrito, pelo que, da mesma maneira que existem diferentes tipos de atrito, deverão existir diferentes tipos de lubrificantes (óleo lubrificante, graxa, etc).

Dado que em particular os óleos lubrificantes assumem um papel imprescindível, pois são aplicados nos mais variados segmentos de indústrias, Ipiranga procura através deste documento técnico, dar a conhecer a importância dos mesmos, abordando assim, as suas principais características, aplicações, aditivos e suas funções, os seus vários sistemas de classificação, bem como cuidados gerais de lubrificação ao nível de chumaceiras de rolamentos, engrenagens, etc.

Podendo os lubrificantes ser classificados com base nas condições de serviço a que se destinam, ou com base na sua viscosidade, Lubri-Norte (2007), procura no seu site disponibilizar informação sobre as especificações dos mesmos, sejam eles para motores ou para engrenagens, em função da sua classificação. Sendo o conteúdo do site facultado pela Móbil Lubrificantes, julgo ser uma fonte credível de informação.

Stachowiak (1993), afirma ainda que, sendo o atrito a principal causa de desgaste e perda de energia em sistemas mecânicos, estimando-se que 1/3 da energia que se consome se destina a perdas por atrito, nada mais importante para aqueles que futuramente se ocuparam de unidades industriais que o estudo da tribologia, cujos objectivos são o de melhorar a divulgação e ensino relativamente ao desgaste, atrito e Lubrificação.

### **3.2 – Os Lubrificantes**

Antes do desenvolvimento da indústria petrolífera, os óleos lubrificantes eram essencialmente de origem animal (óleos de sebo, de baleia, etc.) ou de origem vegetal (azeite, óleo de colza, de rícino, etc.); estes últimos sendo menos secativos e de maior estabilidade química e por isso de maior amplitude de aplicação que os óleos animais.



Com o desenvolvimento da indústria petrolífera, tornaram-se preponderantes os óleos minerais, obtidos da destilação fraccionada do petróleo bruto, complementada por adequados processos especiais de refinação.

Os óleos minerais são os lubrificantes de maior uso industrial desde os primórdios do século XX. A sua popularidade deve-se fundamentalmente às características a seguir apresentadas, a maior parte das quais constituindo enormes vantagens sobre os óleos animais e vegetais: abundância e relativo baixo custo, durabilidade, ampla gama de temperatura de utilização, não-toxicidade, propriedades físicas e químicas rigorosamente controladas, boa miscibilidade com aditivos, e compatibilidade com empanques e vedantes (uns e outros, dos tipos mais vulgarmente usados na tecnologia da lubrificação).

Os óleos minerais diferem entre si, dependendo da origem do petróleo e do processo de refinação utilizado.

Segundo Ferreira, as principais diferenças estão na composição química de base, que pode ser parafínica, nafténica e aromática, sendo a sua classificação dada segundo a proporção destes componentes presentes nos lubrificantes.

A fracção aromática é indesejável e encontra-se em pequena proporção nos óleos lubrificantes. Os mais habituais são os óleos de base nafténica ou de base parafínica e as bases intermédias, nafténicas e parafínicas.

A base dos óleos determina as suas propriedades físicas. Assim:

- As *bases de estrutura parafínica* têm um baixo peso específico, um baixo ponto de congelação e a sua viscosidade varia relativamente pouco com a temperatura (alto índice de viscosidade).
- As *bases de estrutura nafténica* possuem um elevado peso específico, são sensíveis à temperatura no que se relaciona à viscosidade (baixo índice de viscosidade), mas têm um alto ponto de congelação.

Para aplicações mais sofisticadas (por exemplo onde se não consiga uma lubrificação por película espessa, ou se trabalhe a altas temperaturas, ou em que seja importante uma maior duração) e onde uma análise de custos-benefícios revele exequibilidade económica, recorre-se a outro tipo de óleos lubrificantes, genericamente designados por óleos sintéticos.

Estes óleos resultam tipicamente de um líquido-base obtido por síntese química, ao qual se juntam apropriados aditivos. Do conjunto das bases sintéticas, possuindo já de si intrínsecas propriedades lubrificantes conferidas pela sua estrutura de longas cadeias moleculares, com os adequados aditivos, resultam óleos extremamente controlados do ponto de vista químico, e com as melhores propriedades específicas para a aplicação pretendidas.

As bases sintéticas mais usadas são os hidrocarbonetos sintéticos (SHC), os ésteres e os poliglicóis. Quanto aos aditivos, os seus tipos podem ser, de um modo geral, os mesmos que se usam nos óleos minerais, nomeadamente os melhoradores de índice de viscosidade, os anti-oxidantes, os inibidores de corrosão, os dispersantes-detergentes, bem como os aditivos anti-desgaste.

As propriedades de um óleo sintético dependenderão naturalmente, em maior ou em menor grau, do tipo de base em causa. A título de ilustração podem-se mencionar as seguintes vantagens típicas dos óleos SHC, em relação aos óleos minerais convencionais:

Uma maior estabilidade química, nomeadamente manifestada pela manutenção de razoável resistência à oxidação a mais altas temperaturas (atingindo limites na casa dos 170°C, logo, cerca de 50°C acima dos óleos minerais) e, por consequência, uma notável maior durabilidade em aplicações de que as máquinas térmicas serão paradigmáticas; menores variações de viscosidade com a temperatura (melhores índices de viscosidade) com retenção de um ainda adequado escoamento a mais baixas temperaturas (pontos de gota na zona dos -50°C, em contraponto aos -20°C dos óleos minerais). (Neale, 1973)

Para além destes lubrificantes existem ainda as massas lubrificantes, das quais faremos referência no final deste capítulo.

### **3.3 – Propriedades Genéricas dos Lubrificantes**

Tem-se sempre procurado traduzir em valores as características de qualidade de um lubrificante, ou, pelo menos, arranjar métodos de ensaio normalizados que permitam determinar se um dado lubrificante satisfaz, ou não, dados requisitos, verificação essa que é feita pela análise de resultados directos ou indirectos.

Em muitos casos um conjunto de propriedades são suficientes para identificar um óleo, embora, cada vez mais, nos afastemos da possibilidade de assegurar, pela simples análise física e química de um óleo, que ele garanta idênticos resultados quando da sua utilização.

Por outro lado, em grande número de casos conhecem-se os conjuntos de características necessárias e suficientes que um lubrificante deve possuir para satisfazer os requisitos do regime de trabalho.

Com a recente evolução verificada no trabalho e produção de óleos lubrificantes para fins especiais, sobretudo no que respeita à lubrificação de máquinas, cuja concepção obriga a árduos regimes de funcionamento, torna-se necessária a verificação experimental do comportamento dos óleos em condições de trabalho padrão, ou mesmo da verificação dos resultados obtidos em casos específicos. Subsiste, no entanto, o interesse de determinar e conhecer algumas das propriedades fundamentais para identificação dos óleos. A par disso o conhecimento de outras propriedades permite e facilita a compreensão da função desempenhada pelo óleo.

Entre as propriedades mais importantes dos óleos tem-se:

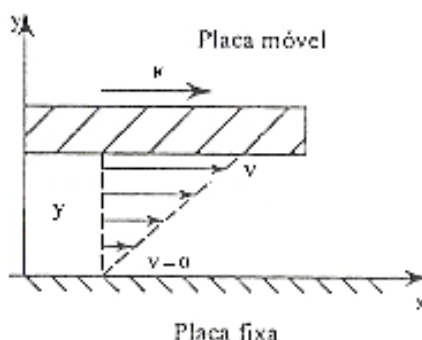
- Grau de viscosidade;
- Índice de viscosidade;
- Ponto de inflamação;
- Ponto de combustão;
- Ponto de congelação;
- Resíduos carbonosos;
- Estabilidade à oxidação.

### **3.3.1 - Grau e índice de viscosidade**

A viscosidade é, em geral, uma das mais importantes propriedades dos lubrificantes a ter em consideração. É ela que para dadas condições de solicitação do sistema tribológico controla a espessura da película lubrificante e, por conseguinte, a eficaz separação das superfícies de contacto, a capacidade de carga da ligação cinemática, a ocorrência ou não de desgaste, e até o próprio valor do atrito fluido hidrodinâmico e, portanto, o rendimento do mecanismo em causa.

Pode-se definir grau de viscosidade de um óleo a uma dada temperatura, como a resistência oposta pelo óleo a qualquer escorregamento interno das suas moléculas. A viscosidade varia com a temperatura, pressão e natureza do líquido, sendo uma característica que depende das condições de trabalho, e que é definida por duas grandezas físicas, ou seja, pela sua viscosidade dinâmica e viscosidade cinemática.

A viscosidade dinâmica ou absoluta de um fluido define-se como o acréscimo de força necessária para fazer deslocar uma superfície móvel animada de velocidade  $v$ , sobre outra superfície fixa, quando separadas entre si por uma camada de líquido de espessura  $y$ .



**Fig. 3.1** – Modelo teórico de variação de velocidade de um fluido entre placa fixa e móvel

Sendo esta relação expressa pela formula:

$$F = \mu \cdot A \cdot \frac{dv}{dy}$$

$\mu$  - viscosidade dinâmica

$A$  - área de contacto

Define-se ainda a tensão de corte  $\tau$ , que actua no fluido por:

$$\tau = F / A$$

Explicitando a viscosidade dinâmica na formula virá:

$$\mu = \frac{\tau}{dv / dy}$$

A viscosidade dinâmica será então medida, no sistema internacional de unidades (S.I), pela unidade [Pa·s], o pascal-segundo, e no antigo sistema de unidades (C.G.S) por [dine·cm<sup>-2</sup>·s], a que foi dada a designação de poise e atribuída o símbolo [P]. Estas unidades são contudo geralmente demasiado grandes para os óleos correntemente utilizados e por isso usa-se muitas vezes o mili-Pascal-Segundo (SI) e o centipoise (C.G.S) que correspondem à viscosidade da água a 20°C.

Não sendo a viscosidade dinâmica ou absoluta uma propriedade muito prática de medir em ambiente industrial, apareceram muito cedo durante o desenvolvimento dos óleos lubrificantes (e outros derivados do petróleo) métodos muito simples, e adequados ao fim em vista, de obtenção de uma "medida da viscosidade" através da medição do tempo que uma determinada

quantidade de líquido leva a escoar-se, por um tubo capilar de um determinado calibre, no campo gravítico.

Tais métodos designam-se em geral por métodos gravimétricos e os seus mais tradicionais viscosímetros, e respectivas unidades de medida, são os de:

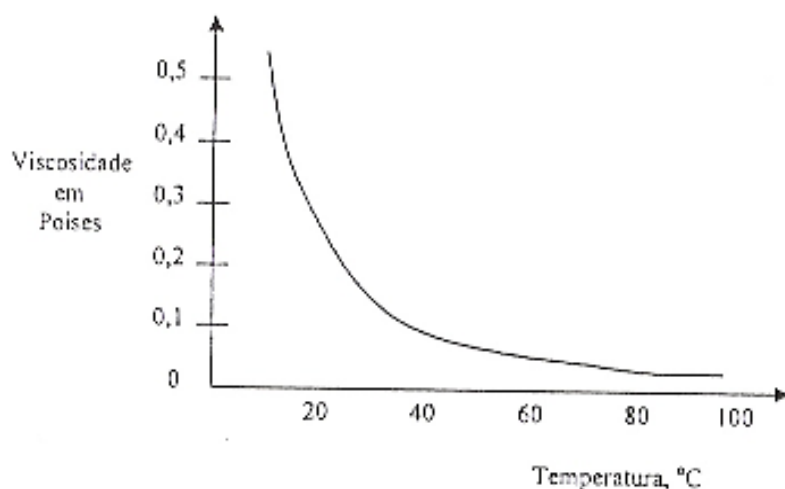
- Redwood: segundos-redwood;
- Engler: graus-engler,
- Saybolt: segundos-saybolt, ou segundos-saybolt universal (SUS).

A viscosidade cinemática por sua vez define-se como sendo a razão entre o coeficiente entre a viscosidade dinâmica ( $\mu$ ) e a massa volúmica do fluido ( $\rho$ ).

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

No sistema C.G.S a unidade de viscosidade cinemática é o Stoke (St), utilizando-se na prática o centistoke (cSt). Não existe contudo nome próprio no sistema S.I para esta unidade.

A escolha dum óleo para determinada operação, tem sempre como ponto de partida a sua viscosidade, que tem que ser suficientemente elevada para assegurar uma película lubrificante e baixa o suficiente para que as perdas por atrito próprio não sejam excessivas. Dado que a viscosidade do lubrificante se altera com variações térmicas, torna-se necessário tomar em conta a temperatura que o óleo atingirá quando a máquina se encontra em funcionamento.

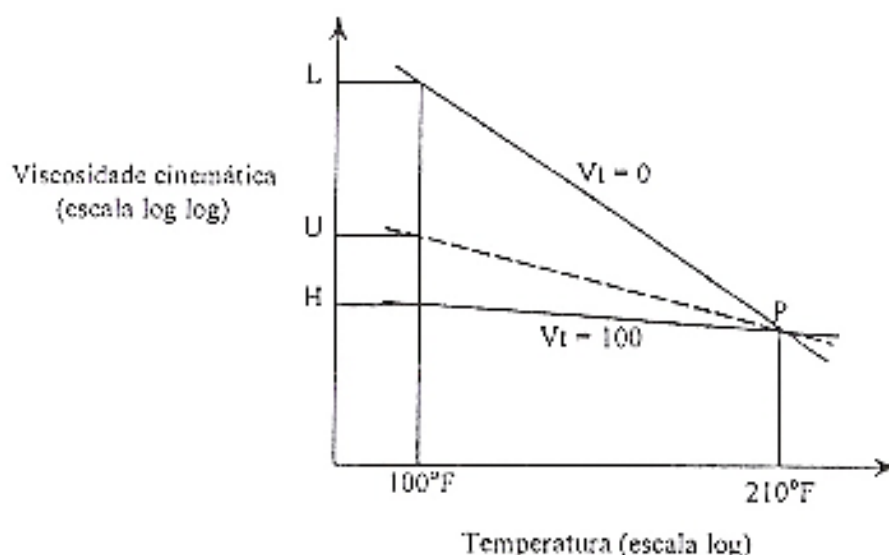


**Fig. 3.2** – Variação da viscosidade com a temperatura para um óleo mineral

Segundo Ferreira, a variação da viscosidade com a temperatura, que se situa na ordem dos 2,5% por grau nas temperaturas próximas dos 20°C para a água, pode atingir 10 a 15% por grau no caso dos óleos minerais.

Assim sendo, é de enorme importância na tecnologia da lubrificação em geral (e não exclusivamente no mecanismo de lubrificação em si), que exista uma medida da maior ou menor variação da viscosidade de um óleo lubrificante na gama das temperaturas mais usuais de funcionamento da generalidade dos sistemas mecânicos, e a pressões não significativamente afastadas da ambiente. Essa medida começou por ser suprida pela criação, nos EUA, durante o primeiro terço do século XX, e ainda em vigor, de um índice de viscosidade (V.I.).

O índice de viscosidade (V.I.) de um óleo é um valor empírico que estabelece uma relação entre a variação que a sua viscosidade sofre com a temperatura, e as variações idênticas de dois óleos de referência, um relativamente sensível (V.I.=0) e outro relativamente insensível (V.I.=100), tomando-se como base as viscosidades medidas às temperaturas de 100 e 210 °F (37,8 e 98,9 °C). O óleo com baixo índice de viscosidade é proveniente do Golfo do México e o de alto índice da Pensilvânia (centro dos EUA). É possível, no entanto, produzir óleos mais sensíveis à temperatura do que os que se encontram abrangidos pela referência V.I.=0, e outros menos sensíveis do que os que figuram com a referência V.I.=100, devido, sobretudo, à introdução de novos aditivos, obtendo-se assim valores de índice de viscosidade abaixo de zero ou acima de 100, respectivamente. (Móbil, 1976)



**Fig. 3.3** – Definição do índice de viscosidade

Explicitando o índice de viscosidade (V.I) na formula virá:

$$V.I(\%) = \frac{L - U}{L - H} \cdot 100$$

Em resumo, a viscosidade de todos os óleos diminui com o aumento de temperatura, mas nos óleos com alto índice de viscosidade aquela não varia tanto como nos que têm um baixo V.I, para idênticas amplitudes de variação.

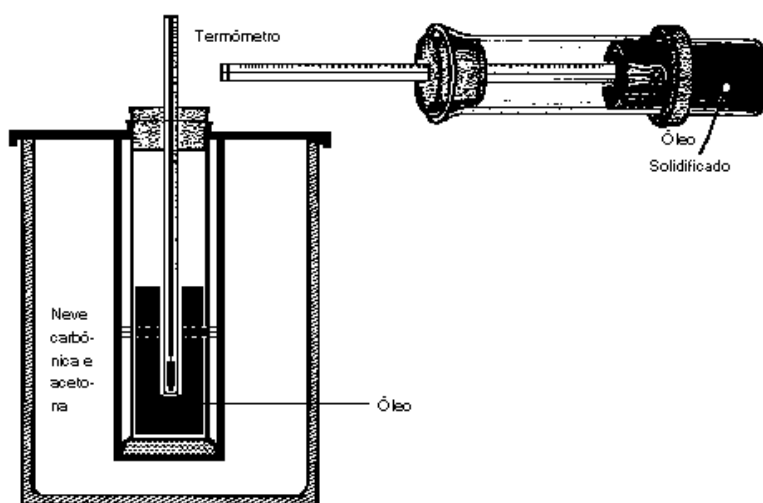
### 3.3.2- Ponto de inflamação e de combustão

O *ponto de inflamação* de um óleo é a temperatura mínima à qual o óleo liberta à sua superfície uma concentração suficiente de vapores para inflamarem, quando se aproxima uma chama livre. No entanto a concentração de vapores não é suficiente para manter a combustão e a chama apaga-se. Todavia, se fizermos aumentar suficientemente a temperatura no seio do óleo, a libertação de vapores será bastante rápida, mantendo uma combustão continua. Ao valor dessa temperatura corresponde o *ponto de combustão*.

Os valores do ponto de inflamação e de combustão variam muito de óleo para óleo, dependendo da sua origem.

### 3.3.3- Ponto de escorrimento ou congelação

É a temperatura mais baixa a que o óleo escorre ou flui quando arrefecido em determinadas condições.



**Fig. 3.4** - Determinação do ponto de congelamento

O ponto de escorrimento ou congelação não tem um valor absoluto pois o ensaio é feito com o óleo em repouso podendo os resultados na prática serem diferentes derivados da agitação mecânica, e da velocidade de arrefecimento.

### **3.4 – Aditivos**

Têm como fim, conferir determinadas propriedades aos óleos lubrificantes depois de acabados, pela adição de agentes químicos, vulgarmente chamados de aditivos.

A vastidão deste campo não permite senão assinalar os tipos de aditivos mais correntes e as funções a que se destinam. Embora muitos tenham funções múltiplas, só citaremos os que têm uma finalidade específica.

Numa classificação sumária pode-se dizer que os aditivos se destinam a uma das seguintes funções:

- de protecção;
- de limpeza;
- de alteração da sensibilidade do óleo.

*Aditivos de protecção:*

- Aditivos de untuosidade que melhoram a aderência do filme de óleo e reduzem o coeficiente de atrito em condições limites de lubrificação;
- Aditivos de extrema - pressão (EP) que combinam com a superfície do metal para formar uma película escorregadia que evita a gripagem das peças sujeitas a grandes pressões e temperaturas. As substâncias mais utilizadas nestes aditivos são compostos de enxofre, cloro ou fósforo-zinco, que atacam as irregularidades das superfícies formando compostos facilmente destacáveis, dando origem a um filme sólido inorgânico muito tenaz;
- Aditivos anti-desgaste, reduzem o desgaste rápido das peças provocado fundamentalmente pelo enxofre. Estes aditivos eliminam o desgaste que resulta do rompimento do filme de lubrificante, ficando as superfícies metálicas em contacto directo. Na sua constituição entram principalmente compostos orgânicos à base de fósforo, que ao reagirem com as superfícies metálicas formam um estrato superficial de lubrificante sólido;
- Aditivos anti-ferrugem, evitam a oxidação das peças fabricadas com metais ferrosos;



- Aditivos anti-corrosão, neutralizam os ácidos corrosivos derivados do ácido sulfúrico resultante do enxofre existente nos combustíveis, formando uma película protectora.

*Aditivos de limpeza:*

- Aditivos detergentes e dispersantes, mantêm o motor mais limpo pois retêm em suspensão os resíduos resultantes da combustão, carbono e impurezas. Os aditivos detergentes soltam ou impedem a formação de produtos de oxidação (água, resinas, etc.) que tendem a depositar-se nas superfícies metálicas, dada a sua insolubilidade nos lubrificantes, mantendo-as em suspensão e os dispersantes mantêm as partículas em suspensão afim de as conduzir para os filtros antes que elas se depositem;

*Aditivos de alteração de sensibilidade:*

- Aditivos de adesividade para melhorar a coesão das partículas do óleo;
- Aditivos para diminuir o ponto de congelação de forma a facilitar o arranque a frio do motor;
- Aditivos para melhorar o índice de viscosidade tornando o óleo menos sensível à variação da temperatura; são geralmente polímeros;
- Aditivos anti-emulsionantes, que favorecem a ruptura do filme de óleo que envolve as bolhas de ar;
- Anti-oxidantes, que impedem a oxidação do óleo a altas temperaturas sobre as partes quentes do motor. A oxidação do óleo provoca depósitos (resinas, vernizes, etc.) sobre os êmbolos originando produtos agressivos às chumaceiras e moentes.

### **3.5 – Especificações dos Lubrificantes**

Os óleos lubrificantes são classificados em função da sua viscosidade e das condições de serviço, capazes de retardar o desgaste do motor.

#### **3.5.1- Classificação com base na viscosidade**

O sistema oficial, geralmente aceite, para classificar óleos para motores, apenas no que se

refere à viscosidade, é o recomendado pela Sociedade de Engenheiros de Automóveis (Society of Automotive Engineers - SAE). Esta classificação não avalia a qualidade do óleo, dá apenas uma estimativa da viscosidade a uma temperatura particular.

Segundo esta classificação os óleos dividem-se em duas séries (classes), conforme a temperatura a que é determinada a viscosidade, em óleos de Inverno, referenciados pela letra W, que é a inicial da palavra inglesa "Winter" e óleos de Verão, tendo cada uma delas vários graus, definidos por gamas de viscosidade determinadas a uma dada temperatura.

Nos óleos de Inverno determina-se a viscosidade dinâmica a temperaturas compreendidas entre -5 e - 30 °C, e nos de Verão determina-se a viscosidade cinemática a 100 °C.

O objectivo essencial dos óleos de Inverno é garantir uma fluidez suficiente que facilite o arranque dos motores a temperaturas muito baixas e a classificação dos óleos de Verão é o de definir óleos que apresentem uma viscosidade suficiente nas condições normais de utilização.

Cada número S.A.E. corresponde a uma certa amplitude de viscosidade com limites expressos em milipascal - segundo (mPa.s) ou milímetro quadrado por segundo ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) – viscosidade dinâmica e viscosidade cinemática, respectivamente. A viscosidade medida nos óleos de Inverno (viscosidade dinâmica) e de Verão (viscosidade cinemática) implica que, por exemplo, um óleo SAE 20 W não tenha a mesma viscosidade que um óleo SAE 20;  $1 \text{ mPa.s} = 1 \text{ cP}$  e  $1 \text{ mm}^2/\text{s} = 1 \text{ cSt}$ . (Santos, 1996)

A viscosidade de um óleo é tanto mais alta quanto maior é o número S.A.E, assim, um óleo S.A.E. 30 é mais viscoso que um óleo S.A.E. 20 e um óleo S.A.E. 20W é mais viscoso que um óleo S.A.E. 10W. Deste sistema de classificação resulta que, por exemplo, não é possível um óleo ter a designação S.A.E. 20 e S.A.E. 40 simultaneamente, uma vez que os seus limites de viscosidade referidos a 98,9 °C não se sobrepõem. Um óleo pode, no entanto, ser ao mesmo tempo S.A.E. 20W e S.A.E. 40 (classificado na série de Inverno e na série de Verão) tomando então a designação de óleo multigraduado; tem um grau de viscosidade a baixa temperatura e outro grau a quente.

Os óleos multigraduados constituem uma categoria particular dos óleos motores uma vez que são sempre designados por dois números S.A.E. apresentando-se contraídos num só: S.A.E. 10W/30, que designa um óleo de alto índice de viscosidade ao ponto de se manter suficientemente fluído a - 20 °C - S.A.E. 10W - e não muito viscoso a 100 °C - S.A.E. 30. Um óleo SAE 50 a altas temperaturas é mais fluído que um SAE 5 W a baixas temperaturas, pelo

que um óleo multigraduado SAE 5 W / 50 ao passar de -18 °C para 99°C, torna-se mais fluido apesar do seu grau passar de 5 (com W) para 50. (Santos, 1996)

**Quadro 3.1** – SAE J300 – óleos para motores

	Grau SAE	Viscosidade dinâmica máxima à temperatura indicada		Valor máximo da temperatura de bombagem	Viscosidade a 100°C mm <sup>2</sup> /s = cSt	
		mPa.s	°C		Min.	Max.
Série de Inverno	0W	3250	-30	-35	3,8	-
	5W	3500	-25	-30	3,8	-
	10W	3500	-20	-25	4,1	-
	15W	3500	-15	-20	5,6	-
	20W	4500	-10	-15	5,6	-
	25W	6000	-5	-10	9,3	-
Série de verão	20	-	-	-	5,6	9,6
	30	-	-	-	9,3	12,5
	40	-	-	-	12,5	16,3
	50	-	-	-	16,3	21,9
	60	-	-	-	21,9	26,1

Os óleos multigraduados têm por base um óleo de Inverno ao qual se juntaram aditivos espessantes (viscosidade) que actuam quando a temperatura sobe, o que permite obter índices de viscosidade que variam numa gama alargada. Um óleo multigraduado satisfaz simultaneamente as exigências de utilização a baixas e altas temperaturas, pelo menos sob o ponto de vista da viscosidade, o que permite um fácil arranque a baixas temperaturas e manter um filme de óleo entre as peças a altas temperaturas.

**Quadro 3.2-** Índice de viscosidade dos óleos de motor multigraduados

<b>Classificação S.A.E</b>	<b>Índice de Viscosidade (*)</b>
5W20	122
5W30	178
5W40	207
5W50	230
10W30	134
10W40	170
10W50	180
15W30	115
15W40	138
15W50	157
20W40	113
20W50	130

(\*) O índice de viscosidade atrás referido (V.I. - Viscosity Index) tornou-se inadequado para valores acima de 100. Actualmente, um novo método para determinação de V.I. acima de 100, é empregue e é designado por Viscosity Index Extension (V.I.E.). Há continuidade entre os dois sistemas de tal modo que V.I = 100 é equivalente a V.I.E. = 100.

### 3.5.2 - Classificação com base nas condições de serviço

A viscosidade de um óleo e sua variação não é suficiente para a sua definição completa, pelo que é fundamental considerar as condições de utilização (serviço), cujos critérios são variáveis e de difícil determinação.

Estas condições conduzem à alteração progressiva dos óleos, nomeadamente a sua poluição, como resultado da acumulação de elementos sólidos, como as partículas metálicas, de

elementos líquidos, como a água de condensação, e das alterações químicas, por oxidação com a água, oxigénio do ar, etc., e alterações químicas que resultam do contacto com as partes quentes dos motores.

As condições de serviço são definidas em função das “performances” dos motores, sua tecnologia e condições de utilização, pelo que devem possuir propriedades anti-desgaste, extrema pressão, dispersividade, anti-acidez, anticorrosão, etc.

Foi durante a segunda guerra que se sentiu a necessidade de se complementar a classificação SAE tendo, para o efeito, o exército americano estabelecido as normas Mil.L, que mais tarde o “American Petroleum Institute” (A.P.I) e a “European Automobile Manufacturers Association” (A.C.E.A) adaptaram aos equipamentos civis.

### **3.5.2.1 - Classificação A.P.I.**

Baseado em testes realizados com motores padronizados, sob condições operacionais controladas, denominadas de “Sequência de Testes”, o Instituto Americano de Petróleo (American Petroleum Institute - API), desenvolveu a classificação de serviço A.P.I.

Esta classificação, que se encontra relacionada com o nível de desempenho do lubrificante, representa a avaliação da qualidade da protecção fornecida pelo lubrificante ao mecanismo a lubrificar.

Na classificação A.P.I foram estabelecidas, inicialmente quatro categorias para os óleos de motores à gasolina, designadas pelas letras A, B, C e D, precedidas pela letra S, de *Service* (postos de gasolina, garagens, revendedores autorizados). Para os óleos de motores diesel, foram estabelecidas também, quatro categorias igualmente designadas pelas letras A, B, C e D, precedidas, porém pela letra C, de *Commercial* (veículos mais pesados, destinados ao transporte de cargas ou colectivos). A segunda letra identifica o nível de evolução do lubrificante. Exemplo: SA, SB, etc.

A classificação A.P.I é uma classificação aberta, o que significa que se vão definindo novos níveis de desempenho à medida que se requerem melhores lubrificantes para os novos motores desenvolvidos. Em geral sempre que se define um novo nível A.P.I, designa-se como obsoletos alguns dos níveis anteriormente estabelecidos.

Os níveis definidos pela classificação A.P.I encontram-se ilustrados nos Quadros 3.3 e 3.4 respectivamente para os óleos dos motores a gasolina e diesel.

**Quadro 3.3** – Classificação A.P.I dos óleos para motores a gasolina

API	CARACTERÍSTICAS
SA	Óleo sem aditivos, utilizado antes da década de 30. Obsoleta
SB (1930)	Mínima protecção antioxidante, anticorrosiva e antidesgaste. Obsoleta.
SC (1964)	Incorpora o controlo de depósitos a baixa e alta temperatura. Obsoleta.
SD (1968)	Maior nível protecção que a designação anterior no que respeita à formação de depósitos, desgaste e corrosão. Obsoleta.
SE (1972)	Protecção elevada contra a oxidação do óleo, depósitos de alta temperatura, desgaste e corrosão. Obsoleta.
SF (1980)	Maior estabilidade à oxidação e características anti-desgaste. Obsoleta.
SG (1989)	Melhor controlo na formação de depósitos, oxidação do óleo e desgaste. Obsoleta.
SH (1993)	Melhor protecção que a designação SG, fundamentalmente no controlo de depósitos, oxidação do óleo, desgaste e corrosão. Estes óleos foram aprovados de acordo com o código CMA (Chemical Manufactures Association)
SJ (1996)	Melhor controlo na formação de depósitos, melhor fluidez a baixas temperaturas, maior protecção do motor a elevadas rotações, menor consumo de combustível.
SL (2001)	Desenvolvida para lubrificantes com vista à economia de combustível. Superior resistência antioxidante a elevadas temperaturas e ao desgaste.

**Quadro 3.4** – Classificação A.P.I dos óleos para motores diesel

API	CARACTERÍSTICAS
CA (1940)	Motores de aspiração natural. Protecção mínima contra a corrosão, desgaste e depósitos. Obsoleta.
CB (1949)	Motores de aspiração natural. Melhor controlo sobre os depósitos e desgaste. Obsoleta.
CC (1961)	Motores de aspiração natural e sobrealimentados. Maior controlo sobre a formação de depósitos a alta temperatura e corrosão nas válvulas. Obsoleta.
CD (1955)	Motores de aspiração natural e sobrealimentados que requerem um maior e efectivo controlo dos depósitos e do desgaste. Série 3 classica. Obsoleta.
CD-II (1955)	Motores diesel de dois tempos que requerem um efectivo controlo do desgaste e dos depósitos (estes óleos cumprem todos os requisitos do nível CD). Obsoleta.
CE (1983)	Motores sobrealimentados em condições de serviço severo. Controlo sobre consumo e viscosidade do óleo, depósitos e desgaste. Dirigida a óleos multigrade. Obsoleta.
CF-4 (1990)	Motores sobrealimentados em condições de serviço severo. Melhor controlo sobre o consumo de óleo e formação de depósitos nos pistões. Substitui o nível CE.
CF (1994)	Motores de aspiração natural e sobrealimentados. Efectivo controlo da formação de depósitos nos pistões, desgaste e corrosão nas válvulas. Substitui o nível CD, contudo, não substitui o nível CE.
CF-2 (1994)	Motores diesel a dois tempos que requerem um efectivo controlo do desgaste dos segmentos e cilindros e da formação de depósitos. Substitui o nível CD-II. Não cumpre na totalidade os requisitos dos níveis CF e CF-4.
CG-4 (1994)	Motores diesel para serviço severo. Efectivo controlo dos depósitos de alta temperatura, desgaste, corrosão, espuma e oxidação do lubrificante. Concebido para cumprir as normas sobre as emissões de 1994. Também se pode utilizar quando se requer óleos de nível CD, CE e alguns casos CF-4.
CH-4 (1998)	Motores diesel para serviço severo, para gasóleo com baixo ou elevado teor de enxofre, e que cumpram as normas de controlo de emissões de 1998. Controlo melhorado sobre a formação de depósitos, desgaste e resistência à oxidação.
CI-4 (2002)	Usado em motores de alta velocidade que cumprem com os limites de emissões implementadas a partir de 2002. Também usado em motores com EGR (Recirculação de gase de Blow-By). Comparada com CH-4, estes óleos apresentam uma maior protecção contra a oxidação, desgaste, estabilidade da viscosidade melhorada, melhorando o consumo de óleo.

### 3.5.2.2 - Classificação A.C.E.A

A classificação Europeia de óleos lubrificantes com base nas condições de serviço, ACEA (European Automobile Manufacturers Association), é compreendida por 3 conjuntos de sequências, designado por um código de duas partes, para orientação do consumidor, constituído por uma letra para definir a CLASSE, e um numero para definir a CATEGORIA.

A CLASSE indica o óleo destinado a um tipo de motor em geral; actualmente “A/B” para motores a Gasolina e Diesel ligeiros “Light Duty”; “C” para motores a Gasolina e Diesel Light Duty com dispositivos de tratamento após combustão e “E” para motores pesados “Heavy Duty”. Outras classes poderão ser acrescentados no futuro, como por exemplo, caso o óleo para motores a Gás Natural provar exigir características que não podem ser facilmente incorporado em classes existentes.

A CATEGORIA indica óleos para diversos fins ou aplicações dentro de uma classe em geral, e está relacionada com aspectos do nível de desempenho do óleo. Assim (A1/B1, A3/B3, A3/B4 e A5/B5) para os motores a gasolina e diesel ligeiros; (C1, C2, C3, C4) especificamente para os motores com dispositivos tratamento após combustão, e para sequencias de pesados (E2, E4, E6, E7). As aplicações típicas de cada sequência são abaixo descritos apenas para orientação, sendo as aplicações específicas de cada sequência da responsabilidade individual dos construtores para os seus próprios veículos/motores

Os números de ANO são destinados exclusivamente para uso industrial e indicam o ano de aplicação do nível de severidade para a categoria específica. A título de exemplo, A1/B1-04, dá-nos a indicação que o nível de severidade em questão foi implementado no ano de 2004. Um número de um novo ano vai indicar, por exemplo, que um novo teste, parâmetro ou limite foi incorporado para a categoria para fazer face aos novos / melhorados requisitos de desempenho embora que compatíveis com aplicações existentes. Uma actualização deve sempre satisfazer os pedidos da questão anterior. Se não for esse o caso, então é necessária uma nova categoria.

#### **A/B: Óleos para motores a Gasolina e Diesel light duty**

A1/B1: Óleos destinados a motores a gasolina e diesel ligeiros, desenvolvidos especificamente para serem capaz de usar óleos de baixa viscosidade e fricção, com uma elevada temperatura / elevada taxa de corte de viscosidade de cerca de 2.6 a 3.5 mPa.s. Estes óleos podem ser impróprios para o uso em alguns motores.



A3/B3: Óleos estáveis, destinados a serem utilizados em motores de elevado desempenho a gasolina e diesel, com intervalos de muda alargados, e condições operacionais severas.

A3/B4: Óleos estáveis, destinados ao uso em motores de alta performance a gasolina e diesel de injeção directa, mas também adequado para aplicações descritas sob A3/B3.

A5/B5: Óleos estáveis, destinados a serem utilizados em motores de elevado desempenho a gasolina e diesel, com intervalos de muda alargados especificados pelo construtor, concebidos especificamente para serem capaz de usar óleos de baixa viscosidade e fricção, com uma elevada temperatura / elevada taxa de corte de viscosidade de cerca de 2.9 a 3.5 mPa.s.

### **C: Óleos de compatibilidade catalítica**

C1: Óleos estáveis, destinados a ser utilizados como óleos compatíveis com a unidade catalisadora em veículos com filtro de partículas Diesel e catalizador de três vias em carros de elevada performance, e em motores a gasolina e diesel ligeiros, que requeiram óleos de baixa viscosidade e fricção, baixo teor em cinzas sulfatadas, fósforo e sulfatos com uma elevada temperatura / elevada taxa de corte de viscosidade superior a 2.9 mPa.s. Estes óleos permitirão aumentar o tempo de vida do filtro de partículas Diesel e da unidade catalisadora, bem como, trazer benefícios ao nível do consumo de combustível.

C2: Óleo estáveis, destinados a ser utilizados como óleos compatíveis com a unidade catalisadora em veículos com filtro de partículas Diesel e catalizador de três vias em carros de elevada performance, e em motores a gasolina e diesel ligeiros, desenvolvidos para serem capaz de usar óleos de baixa viscosidade e fricção, baixo teor em cinzas sulfatadas, fósforo e sulfatos com uma elevada temperatura / elevada taxa de corte de viscosidade superior a 2.9 mPa.s. Estes óleos permitirão aumentar o tempo de vida do filtro de partículas Diesel e da unidade catalisadora, bem como, trazer benefícios ao nível do consumo de combustível.

C3: Óleos estáveis, destinados a ser utilizados como óleo compatíveis com a unidade catalisadora em veículos com filtro de partículas Diesel e catalizador de três vias em carros de elevada performance, e em motores a gasolina e diesel ligeiros. Estes óleos permitirão aumentar o tempo de vida do filtro de partículas Diesel bem como da unidade catalisadora.

C4: Óleos estáveis, destinados a serem utilizados como óleos compatíveis com a unidade catalisadora em veículos com filtro de partículas Diesel e catalizador de três vias em carros de elevada performance, e em motores a gasolina e diesel ligeiros, que requeiram óleos de baixa

viscosidade e fricção, baixo teor em cinzas sulfatadas, fósforo e sulfatos com elevada temperatura / elevada taxa de corte de viscosidade superior a 3.5 mPa.s. Estes óleos permitirão aumentar o tempo de vida do filtro de partículas Diesel bem como da unidade catalisadora.

### **E: Óleos para motores Diesel pesados**

E2: Óleos para motores diesel pesados de aspiração natural e turbo alimentados, com intervalos de muda regular.

E4: Óleos Estáveis, que proporcionam um excelente controlo da limpeza de pistão, desgaste, manipulação de fuligem e estabilidade do lubrificante. Recomenda-se para motores diesel altamente cotados em requisitos de emissão Euro 1, Euro 2, Euro 3 e Euro 4 e funcionando sob condições muito severas, por exemplo, mudas de óleo em intervalos significativamente alargados, de acordo com as recomendações do fabricante. É apropriado para motores sem filtros de partículas, e para alguns motores com EGR e alguns motores equipados com sistemas de redução de NOx.

E6: Óleos estáveis, que proporcionam um excelente controlo da limpeza de pistão, desgaste, fuligem e estabilidade do lubrificante. Recomenda-se para motores diesel altamente cotados em requisitos de emissão Euro 1, Euro 2, Euro 3 e Euro 4 e funcionando sob condições muito severas, por exemplo, mudas de óleo em intervalos significativamente alargados, de acordo com as recomendações do fabricante. É apropriado para motores sem filtros de partículas, e para alguns motores com EGR e alguns motores equipados com sistemas de redução de NOx. E6 é fortemente recomendado para os motores equipados com filtros de partículas e é desenvolvido para utilização combinada com o combustível para motores diesel com baixo teor de enxofre (50 ppm max).

E7: Óleos estáveis, que proporcionam um excelente controlo da limpeza de pistão e desgaste do cilindro. Além disso, proporciona um excelente controlo do desgaste, do depósito resultante da turbo alimentação, da fuligem e da estabilidade do lubrificante. Recomenda-se para motores diesel altamente cotados em requisitos de emissão Euro 1, Euro 2, Euro 3 e Euro 4 e funcionando sob condições muito severas, por exemplo, mudas de óleo em intervalos significativamente alargados, de acordo com as recomendações do fabricante. É apropriado para motores sem filtros de partículas, e para alguns motores com EGR e alguns motores equipados com sistemas de redução de NOx.

### 3.5.2.3 - Classificação MIL-L do exército americano

As especificações militares foram criadas pelo Exército Americano e aceites mundialmente, para estabelecer níveis de desempenho. Além das características físicas e químicas dos óleos, estas especificações exigem testes de desempenho em motores.

A designação comporta as quatro letras MIL-L (Military Lubricant) seguidas de um número de quatro ou cinco algarismos e de uma letra.

Entre as especificações mais conhecidas temos:

- MIL- L-2104-A;
- MIL- L-2104-A, suplemento 1;
- MIL- L-2104-B;
- MIL.L- 46152-B;
- MIL.L- 45199-B;
- MIL.L-2104-E;
- MIL.L- 2104-D;
- MIL.L- 46152-C;
- MIL.L- 46152-D;
- MIL- L-2104-C;

As características (qualidades) exigidas em cada uma das normas podem ser assim resumidas:

- MIL- L-2104-A;

Propriedades detergentes, recomendado para motores que operam sob condições e temperaturas moderadas.

- MIL- L-2104-A, suplemento 1;

Propriedades detergentes que suportam condições um pouco mais severas que os óleos da especificação anterior.

- MIL- L-2104-B;

Propriedades detergentes e propriedades dispersivas. Estes óleos podem ser utilizados em veículos que fazem grandes percursos, em tempo quente, ou pequenos trajectos, em tempo frio.

- MIL.L- 46152-B;

Reforço das propriedades de detergência e sobretudo de dispersão. Esta especificação substitui a especificação MIL.L- 46152, sendo os óleos recomendados para motores a gasolina ou gasóleo ligeiramente sobrealimentados, utilizados em trajectos curtos;

- MIL.L- 45199-B;

Propriedades detergentes elevadas. Esta especificação substituiu a MIL.L- 45199, sendo os óleos utilizados em motores diesel sobrealimentados de grande potência e em serviço severo.

- MIL- L-2104-C;

Recomendada principalmente para motores diesel sobrealimentados, que operam sob condições de serviço severo.

- MIL.L- 2104-D;

Propriedades de detergência e dispersivas elevadas. Esta especificação substituiu a MIL.L- 2104 C.

- MIL.L- 46152-C;

Têm características semelhantes à categoria MIL.L- 46152 B, mas os óleos são menos tóxicos. É equivalente à categoria A.P.I. SF/CC;

- MIL.L- 46152-D;

Esta categoria apareceu em 1988 e é equivalente à A.P.I. SG;

- MIL.L-2104-E;

Propriedades elevadas de detergência e dispersividade. Apareceu em 1988, substituindo a categoria MIL.L- 2104 D.

### **3.6 – Massas Lubrificantes**

As massas lubrificantes, não são mais do que o resultado da mistura de um óleo lubrificante, mineral ou sintético, e respectivos aditivos, com um agente espessante que confere à massa uma estrutura tridimensional porosa, semelhante à estrutura de uma esponja, que retém o lubrificante entre os seus poros. A consistência de uma massa aumenta proporcionalmente com a quantidade de espessante existente.

A função do espessante é a de actuar de uma forma permeável, como se fosse um depósito de óleo, permitindo a sua libertação de modo a que possa lubrificar as superfícies metálicas durante o funcionamento e permitindo também a sua absorção quando já não for necessário, afim de evitar fugas e perdas por evaporação, actuando como que se de uma esponja se trata-se.

Os aditivos por sua vez, melhoram as características das massas como sejam a aderência às superfícies, estabilidade á oxidação, protecção contra corrosão, entre outras.

As massas mais comuns são aquelas em que o espessante usado é um sabão metálico. Os sabões metálicos têm uma estrutura fibrosa, dada pela combinação de um ácido gordo de origem animal ou vegetal, e de um sal metálico de lítio, cálcio, sódio, bário e alumínio. A natureza do metal dá à massa a sua estrutura e confere-lhe resistência ao calor, à pressão, à água e às vibrações; existem ainda massas cuja base não é um sabão, mas um composto químico que lhes confere características especiais.

As principais razões que levam à opção pelo uso de uma massa lubrificante em vez de um simples óleo, prendem-se com a característica de persistência da massa em se manter agarrada às zonas de lubrificação, com o efeito de vedação conferido pela própria natureza da massa, quer protegendo as zonas de lubrificação contra poluentes exteriores, quer a não ter ela própria fugas significativas de óleo lubrificante para o exterior, bem como, o facto de conferir uma melhor estabilização da dispersão de aditivos sólidos.

### **3.6.1 – Características das massas e sua classificação**

Entre as principais características das massas, temos a consistência, a viscosidade aparente e o ponto de gota.

#### **3.6.1.1 – Consistência**

As massas lubrificantes são matérias plásticas sólidas, que fluem quando submetidos a pressão, pelo que se torna necessário avaliar a sua consistência por intermédio de uma unidade de medida.

Inicialmente empregavam-se os termos, “mole”, “espesso” e “médio”, para representar essa característica, contudo, após experimentação de vários sistemas para atribuição de uma equivalência numérica, fixou-se um sistema de medida universal, designado por ASTM D217

em que é utilizado um cone metálico de peso normalizado. A consistência das massas lubrificantes expressa-se pela penetração do cone normalizado sobre uma amostra de massa, sob condições normalizadas e é medida em décimos de milímetro.

Baseado neste ensaio o NLGI – “National Lubricating Grease Institute”, estabeleceu uma classificação para massas ditas trabalhadas, isto é, depois de submetidas a cargas de trabalho pré-definidas.

**Quadro 3.5** – Grau de consistência das massas NLGI

Grau de consistência NLGI		
ASTM D 217 Penetração do cone	Grau NLGI	Consistência da massa
445 a 475	000	Semi-fluida    Dura
400 a 430	00	
310 a 340	1	
265 a 295	2	
220 a 250	3	
175 a 205	4	
130 a 160	5	

### 3.6.1.2 - Ponto de gota

Ponto de gota é a temperatura a partir da qual as massas passam do estado semi-sólido (pastoso) ao estado líquido, e fluem através de um orifício, nas condições de ensaio normalizadas.

Apesar de incorrectamente ser tomado como a temperatura máxima a que uma massa pode ser utilizada, na realidade não deve servir de base para recomendar os valores máximos de utilização.

A título indicativo mostra-se no quadro seguinte os pontos de gota e as temperaturas máximas de utilização de algumas massas.

**Quadro 3.6** – Ponto gota de massas lubrificantes

Espessantes	Ponto de gota °C	Temperatura máxima em utilização contínua °C
Lítio	190	120
Lítio complexo	+260	180
Cálcio hidratado	88	65
Cálcio complexo	+260	180
Sódio	180	120
Bário	205	120
Argila orgânica	+260	180
Poliureia	240	180

### 3.6.1.3 – Viscosidade aparente

Ao contrário dos óleos lubrificantes a viscosidade das massas lubrificantes não é independente do esforço cortante, pelo que se observa uma gradual diminuição da viscosidade com o gradual aumento do esforço de corte. Por esta razão, a viscosidade de uma massa não poderá ser expressa nos mesmos termos utilizados nos óleos lubrificantes.

A viscosidade aparente é expressa pela razão entre o valor de esforço de corte e o valor da variação do mesmo esforço. Os valores da viscosidade aparente são úteis na previsão da forma como se comportará a massa ao ser distribuída e aplicada através de sistemas mecânicos, ou seja, são úteis na avaliação efectiva destes lubrificantes. Á que salientar que este valor varia com o tempo quando a massa é submetida a ciclos de deformação.

### 3.6.1.4 – Outras características

Como características podem-se ainda referir a resistência à oxidação, essencial para o seu bom comportamento, bem como propriedades anti-ferrugem, que se traduzem na capacidade de uma massa oferecer características de protecção à ferrugem e corrosão dos órgãos por ela lubrificados. Esta característica torna-se muito importante em todos os casos (ex. chumaceiras) sujeitos à acção da água ou quando se utiliza como meio de protecção à água.

## Capítulo 4 – LUBRIFICAÇÃO DE MOTORES DIESEL

Define-se lubrificação como sendo todo e qualquer processo usado com a finalidade de se obter uma redução do atrito entre superfícies interactuantes.

Os motores térmicos, e em particular os de tipo Diesel, apresentam pela sua própria natureza, sérios problemas ao nível da lubrificação, e que em grande parte se devem:

- Altas pressões no final da compressão, exercidas pelo ar comprimido;
- Altas temperaturas que se desenvolvem durante a combustão;
- A presença, no cilindro, durante grande parte do curso motor, de considerável quantidade de oxigénio;
- A formação de fuligem e outros materiais carbonáceos durante a combustão;
- O emprego de combustíveis de maior teor de enxofre, relativamente ao usado nos motores a explosão.

### 4.1 - Funções do Lubrificante

A principal finalidade da lubrificação num motor é evitar o desgaste entre os diversos pares cinemáticos e a consequente perda de potência e rendimento, que advém do mesmo. Assim sendo, e para atingir tal objectivo, é indispensável que o óleo desempenhe, com eficiência, a sua função lubrificante e ainda assegure arrefecimento, vedação, limpeza interna do motor, bem como, assegure a protecção contra o desgaste.

#### 4.1.1 - Protecção contra o desgaste

Dum modo geral a maior parte do desgaste num motor verifica-se nos cilindros, segmentos e êmbolos, e tem principalmente como causas:

- Abrasão por acção de contaminantes;
- Contacto entre superfícies metálicas;
- Corrosão química.

Os depósitos de carvão produzidos por alguns tipos de óleo lubrificante, bem como, uma grande parte das poeiras aspiradas no ciclo de admissão, ou existentes em alguns combustíveis de motores diesel, são extremamente duras e abrasivas. Estas partículas aderem



às superfícies dos cilindros, que se encontram húmidas de óleo, formando uma pasta tipo esmeril que desgasta os segmentos e cilindros. Tal desgaste, por acção dos agentes contaminantes, consegue reduzir-se e manter-se em limites insignificantes, empregando um lubrificante que produza o mínimo possível de resíduos carbonosos duros e utilizando bons filtros de ar e de combustível.

Dadas as condições de lubrificação limite, prevalentes na parte superior das paredes dos cilindros, não é possível evitar aí completamente o contacto entre superfícies metálicas, e por consequência, o grau de desgaste dessa origem dependem das propriedades do lubrificante. Contudo, possuindo o óleo viscosidade suficiente e boas características anti-desgaste, ele ficará reduzido ao mínimo.

No que respeita ao desgaste por corrosão química, este deve-se essencialmente à natureza dos combustíveis que alimenta os motores diesel, e que contêm um elevado teor de enxofre, originando a formação de ácidos corrosivos, bem como, devido à água em presença de ar no interior da câmara de combustão, especialmente se nela se encontrarem dissolvidos certos gases de combustão, provocando um desgaste nos cilindros e nos segmentos, muito semelhante ao devido a causas mecânicas. A acção corrosiva dos produtos ácidos da combustão fica, porém, muito reduzida empregando lubrificantes que contenham aditivos próprios para a combater, capazes de manterem o desgaste corrosivo dentro de limites aceitáveis.

O desgaste em cilindros e segmentos é particularmente prejudicial visto aumentar as fugas na compressão, dando lugar a baixo rendimento do motor por perda de potência, e o consumo de combustível e lubrificante. Além disso, a quantidade de impurezas no óleo lubrificante avoluma-se devido às maiores quantidades de combustível ainda por queimar, e de resíduos da combustão, que chegam ao cárter.

Pode registar-se ainda desgaste mecânico nos órgãos de comando das válvulas, sujeitos a elevadas cargas, e nos excêntricos das bombas de combustível de alguns motores. Para o combater deverá usar-se um agente anti-desgaste suplementar.

#### **4.1.2 - Arrefecimento**

Para que não se avariem ou mesmo arruinem devido a sobreaquecimento e distorção térmica, os motores precisam de arrefecimento. Esta função cabe fundamentalmente ao sistema de arrefecimento, seja por água ou ar.

O óleo tem no entanto a seu cargo, em todos eles, o papel de dispersão de calor e desempenha um papel importante nos motores do tipo Diesel em que é utilizado, numa forma especial, no arrefecimento dos êmbolos. A dispersão de calor transportado pelo lubrificante processa-se, por sua vez, por irradiação natural, através das paredes do cárter, ou ainda por meio dum permutador de calor, quando um elevado grau de arrefecimento se impõe.

#### **4.1.3 - Vedação**

Os cilindros devem dispor de uma vedação perfeita que reduza as fugas de compressão para o cárter e mantenha a potência e a economia do motor ao nível desejado.

O papel principal cabe aos segmentos e à sua capacidade de se adaptarem aos vários contornos dos cilindros em todo o curso em que são arrastados pelos êmbolos.

No entanto, e dado que as fugas existentes no sistema não podem ser evitadas na sua totalidade, o óleo empregue para a lubrificação dos cilindros, tem ainda como importante função vedar, ou seja, impedir que o ar passe para o carter durante o processo de compressão, bem como, os gases da combustão e combustível não queimado, no curso do motor.

Geralmente, pelo que respeita ao lubrificante, a sua acção será tanto mais ampla quanto mais limpas e desobstruídas estiverem as caixas dos segmentos, de forma que estes possam mover-se livremente e não exista, por parte dos segmentos raspadores, um arrastamento excessivo do óleo que reveste as paredes dos cilindros.

#### **4.1.4 - Limpeza**

A limpeza de todos os órgãos dos motores de combustão interna constitui uma necessidade fundamental para que desempenhem o papel que lhes incumbe no rendimento efectivo do conjunto.

Para a limpeza contribuem a concepção do motor, as suas condições de funcionamento, a manutenção, o combustível e o próprio óleo. Por sua vez, o grau de limpeza reflecte-se no rendimento do motor, ruídos, suavidade de funcionamento, economia e custos de manutenção.

O papel do óleo lubrificante na limpeza das partes internas do motor, consiste em desagregar e arrastar consigo as impurezas que se formam dentro do mesmo, possibilitando assim a sua eliminação, através da drenagem do óleo usado. Essa limpeza processa-se através de uma

propriedade dos óleos lubrificantes para motores diesel, denominada de detergência, que é da maior importância, dado que as impurezas podem obstruir parcial ou mesmo totalmente, as canalizações e orifícios do sistema de lubrificação ou mesmo ocasionar a colagem dos anéis dos segmentos.

## **4.2 – Lubrificação de Chumaceiras**

### **4.2.1 - Mecanismo da lubrificação de chumaceiras**

Quando da rotação do moente de um veio na respectiva chumaceira é auto-gerada entre as superfícies de contacto uma película relativamente espessa de lubrificante, capaz de garantir a eficaz separação dessas superfícies e, portanto, a completa ausência de contacto sólido. Uma tal película terá uma espessura relativa de película, ou factor  $\lambda$ , da ordem de  $\lambda \geq 10$ , designando-se genericamente por película espessa. (Stachowiak e Batchelor, 2001)

O processo de criação e manutenção de tal película espessa, deve-se à formação de uma "cunha" de lubrificante entre os dois sólidos, gerada pelas condições hidrodinâmicas do escoamento do lubrificante processado entre as duas superfícies interactuantes. Daí essa "cunha" ser designada por cunha hidrodinâmica.

Uma película fluida desta natureza pode resistir a uma forte carga, desde que o fluxo de óleo seja superior à quantidade perdida na periferia, caso contrário, a película de óleo não subsiste.

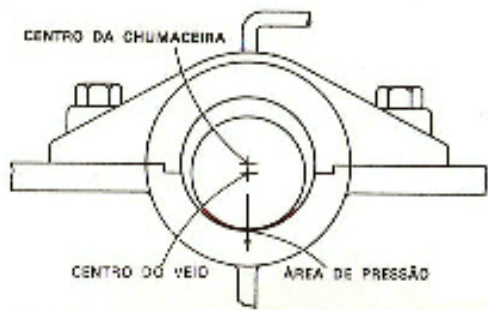
Segundo Móbil, a quantidade de óleo que sai de uma chumaceira depende, principalmente, da sua viscosidade, das folgas laterais e radiais e da disposição dos canais de distribuição do óleo, isto independentemente da carga e do estado mecânico da chumaceira. Assim, desde que o traçado da chumaceira seja apropriado e esta seja alimentada com um óleo de viscosidade adequada e com um débito que exceda o mínimo necessário para assegurar a lubrificação, poderá ser mantida uma película que não se rompa facilmente em serviço normal.

### **4.2.2 - Chumaceiras principais e chumaceiras de cabeça da biela**

A lubrificação das chumaceiras principais e das da cabeça da biela seguem o princípio da lubrificação hidrodinâmica anteriormente descrito, o qual envolve a separação completa de superfícies em movimento relativo por interposição de uma camada de lubrificante, conforme se ilustra na figura 4.1.

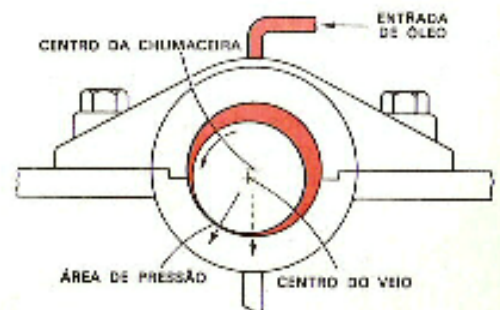
A figura 4.1 a) mostra esquematicamente um moente em repouso sobre uma chumaceira, sendo a folga representada muito exagerada de forma a ilustrar com maior clareza. Enquanto o veio está em repouso, a película lubrificante é desalojada pelo peso do próprio veio, havendo contacto metálico entre as duas superfícies.

Ao ser feito o arranque do motor, o veio começa a girar e o óleo é automaticamente levado à chumaceira, formando-se uma cunha de óleo na folga. As irregularidades das superfícies de contacto impedem que o veio deslize e fazem com que este suba lentamente pela superfície interna do bronze, assumindo a posição indicada na figura 4.1 b). Todavia assim que este movimento se inicia, entram em contacto as superfícies cobertas de óleo e tem início o deslizamento.



**Fig. 4.1** – Princípio da lubrificação hidrodinâmica

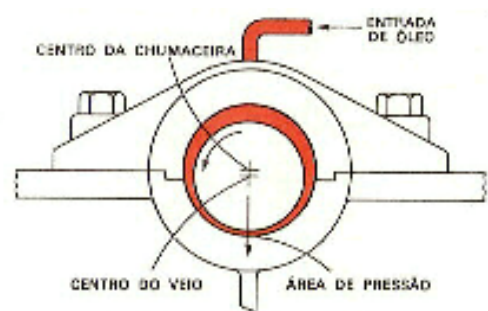
**Fig. 4.1 a)**



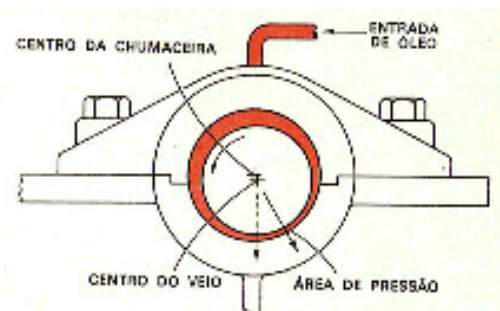
**Fig. 4.1 b)**

Ao aumentar a velocidade de rotação do veio, este arrasta consigo cada vez mais óleo para a área de maior pressão, até que o veio fica completamente separado do bronze, flutuando sobre uma camada de óleo e voltando à sua posição inicial, assumindo a posição da figura 4.1 c).

Finalmente, ao ser atingida a velocidade normal de rotação, o óleo é arrastado com tanta rapidez debaixo do veio que a pressão hidráulica resultante na cunha de óleo, desloca o veio para o lado oposto da chumaceira, conforme se ilustra na figura 4.1 d).



**Fig. 4.1 c)**



**Fig. 4.1 d)**

### **4.2.3 - Chumaceira do cavilhão do êmbolo**

Os casquilhos da chumaceira do cavilhão estão sujeitos a uma grande carga e a temperaturas relativamente elevadas, devido à transmissão do calor proveniente do êmbolo, e a pequena amplitude do movimento oscilatório dificulta a formação de uma película de óleo.

A sua deficiente lubrificação é muitas vezes causa de avarias, podendo em caso de gripagem do cavilhão dar lugar a empenos da biela ou à deterioração da superfície do pistão.

Em motores a quatro tempos, contudo, é assegurada uma lubrificação adequada pelo levantamento periódico do cavilhão dentro do casquilho, que se dá quando próximo do termo do passeio de escape. Este movimento, devido à acção das forças de inércia, acompanha a inversão de sentido da carga e permite a «respiração» da chumaceira, de forma que as folgas voltem a ser preenchidas com óleo.

Nos motores a dois tempos não se verifica uma tal acção de «respiração», visto que a carga nos casquilhos, apesar de variar em intensidade, é sempre exercida no sentido descendente, sendo as condições semelhantes às que predominam nas chumaceiras principais.

Segundo Shell, para assegurar a lubrificação adequada dos cavilhões dos êmbolos em motores a dois tempos são utilizados vários dispositivos especiais. Um dos processos consiste em aumentar de tal forma a área do moente que a pressão hidráulica do óleo seja suficiente para separar o cavilhão e os casquilhos durante o período de mínima carga. Um outro processo consiste em prever na parte inferior dos casquilhos, ou em toda a sua periferia, canais longitudinais com um passo igual ao do movimento oscilatório, de forma que cada elemento da superfície seja coberto por uma película de óleo. Empregam-se também em alguns casos rolamentos de agulhas.

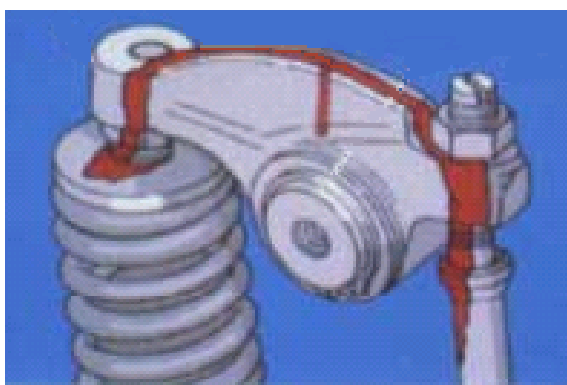
### **4.2.4 - Chumaceiras do veio de excêntricos e comando das válvulas**

As chumaceiras do veio de excêntricos são alimentadas por óleo proveniente do sistema principal por meio de um tubo separado, ou por canais maquinados pelo interior do bloco do motor. A lubrificação dos ressalto do veio de excêntricos é geralmente efectuada por chapinhagem ou por óleo pulverizado.

As chumaceiras dos veios dos Martelos das válvulas são igualmente lubrificadas pelo óleo do sistema principal. O óleo que delas se liberta sob a forma de vapores, durante o normal

funcionamento, acumula-se na cabeça dos cilindros, onde após condensação, é recolhido para que possa retornar novamente ao cárter.

A lubrificação das faces de encosto dos Martelos e das hastes das válvulas de admissão e de escape é feita por capilaridade e por vapores de óleo. É de especial importância que as hastes das válvulas de escape sejam alimentadas com quantidade exacta de óleo, visto que o óleo a mais ou a menos pode dar origem à formação de depósitos na haste da válvula e à colagem desta.



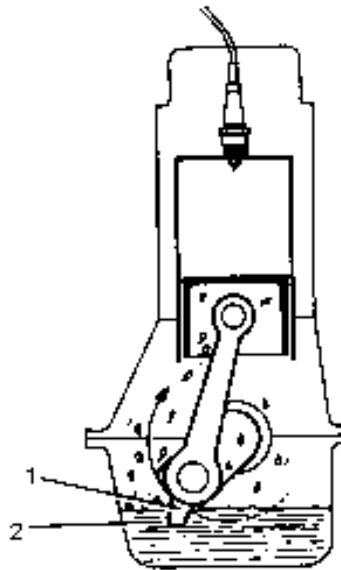
**Fig. 4.2** - Ilustração da lubrificação das hastes e faces de encosto das válvulas

### **4.3 – Sistemas de Lubrificação de Chumaceiras**

Sob a designação de «sistema de lubrificação de chumaceiras» está englobada a lubrificação de todos os órgãos móveis no motor, com excepção dos êmbolos e cilindros. Apesar de estes últimos, poderem igualmente ser lubrificados por óleo proveniente de um sistema de circulação comum às chumaceiras e outros órgãos em movimento, as condições de lubrificação dos êmbolos e cilindros são muito diferentes das que existem nas chumaceiras sendo preferível considerar em separado a aplicação de óleo para a lubrificação do cilindro.

#### **4.3.1 - Sistema de lubrificação por chapinhagem**

O sistema mais simples de lubrificar as chumaceiras é por chapinhagem e foi em tempos usado em larga escala. Em motores assim lubrificados, o cárter contém óleo até um nível tal que, por meio dos contrapesos da cambota ou de conchas de lubrificação adaptadas às cabeças das bielas, esse óleo é arrastado do cárter, sendo previstos algumas vezes canais para o levarem aos vários pontos a lubrificar.



**Fig. 4.3** - Lubrificação por chapinhagem de óleo

1- colher 2- óleo

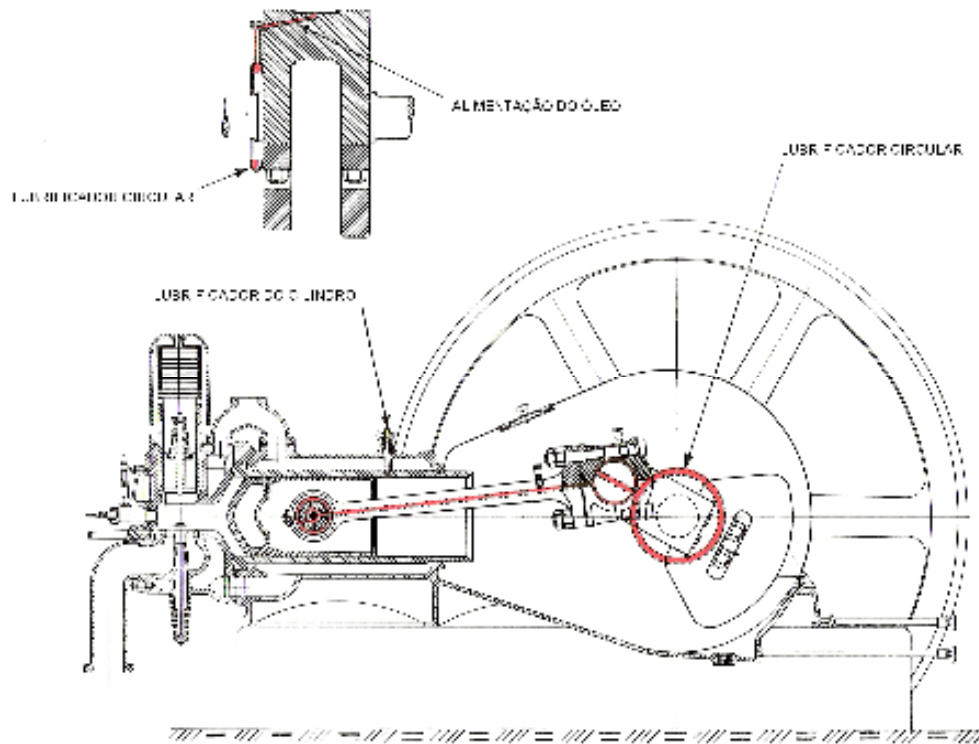
Na maior parte dos motores Diesel, a lubrificação por chapinhagem é impraticável, mas mesmo naqueles em que pode ser aplicada é hoje substituída quase sempre por sistemas de lubrificação de alimentação controlada. Na prática moderna, a lubrificação das chumaceiras é efectuada por meio de lubrificadores mecânicos (sistema de perda total) ou por sistema de circulação contínua sob pressão.

#### **4.3.2 - Sistema de lubrificação por perda total**

Os sistemas de perda total para lubrificação de chumaceiras são empregues nos motores horizontais de cárter aberto e em alguns motores verticais e horizontais a dois tempos de lavagem por compressão no cárter.

O sistema de perda total apresenta como principal vantagem, poder evitar o inconveniente verificado com os sistemas de circulação sob pressão, devido à tendência que tem o óleo proveniente do cárter de passar para os cilindros em quantidades excessivas. Contudo, o fluxo do óleo às chumaceiras é fraco e o seu valor como refrigerante é pequeno.

Nos sistemas de lubrificação por perda total, as chumaceiras principais são lubrificadas por meio de anéis, com excepção de alguns pequenos motores horizontais, onde são algumas vezes utilizados, para este efeito, lubrificadores de goteira.



**Fig. 4.4** - Dispositivo típico de lubrificação de um motor horizontal de cárter aberto

As chumaceiras da cabeça da biela são lubrificadas por meio de lubrificadores de colector circular, alimentados por um lubrificador mecânico. Os cavilhões do êmbolo recebem em geral óleo, proveniente das chumaceiras da cabeça da biela, por meio de um canal no interior da biela ou por um tubo separado. Como alternativa, o óleo pode ser levado por um lubrificador para uma bolsa na saia do êmbolo, onde atinge o cavilhão por meio de canais abertos no êmbolo.

O óleo que se escapa das chumaceiras não é de facto totalmente perdido, mas acumula-se num tabuleiro de drenagem, ou «cárter», e por filtração ou centrifugação pode recuperar-se e ser novamente usado.

#### 4.3.3 - Sistema de lubrificação forçada ou sob pressão

O sistema de lubrificação de chumaceiras mais vulgar nos motores é o da circulação de óleo sob pressão. Este sistema fornece a todas as superfícies das chumaceiras uma grande quantidade de óleo, que serve, não só para manter uma película fluida entre as superfícies, mas também para refrigerar os órgãos da máquina.

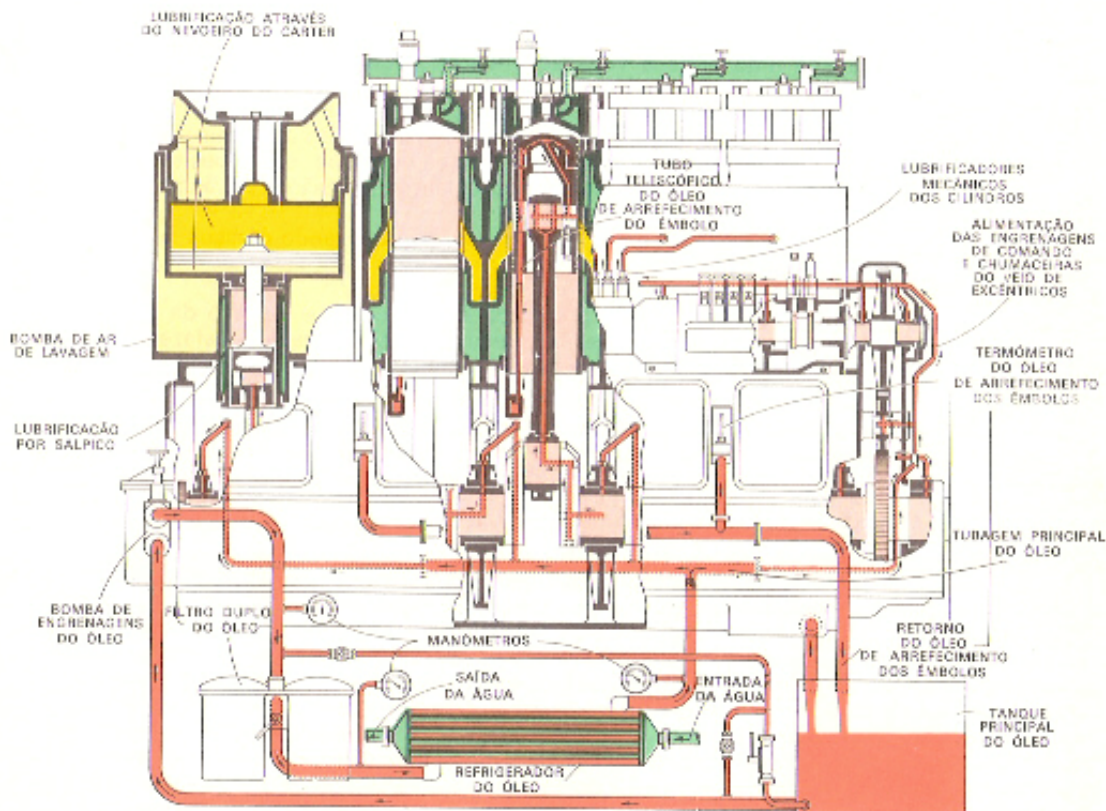


O óleo que circula sob pressão é aspirado por uma bomba do tanque de serviço ou do poço de drenagem do cárter e levado às chumaceiras de apoio por canais existentes no fixo da máquina ou por tubos separados.

São abertos furos na cambota para levar o óleo das chumaceiras principais para as chumaceiras da cabeça da biela e, em geral, também são abertos furos nas bielas para levar o óleo das chumaceiras da cabeça aos cavilhões dos êmbolos.

O óleo que se escapa das chumaceiras e de outras partes em movimento é recolhido no cárter ou tanque de serviço para voltar a circular. Em geral, o óleo volta ao tanque de drenagem sob a acção da gravidade, onde a bomba aspira o óleo do tanque e leva-o ao motor através de um filtro, sendo frequentemente montado um sistema de refrigeração no circuito entre a bomba e o filtro.

Em alguns modelos são utilizadas duas bombas, uma para retirar o óleo do cárter e levá-lo, ao tanque de serviço e a outra para aspirar o óleo deste tanque e levá-lo até às chumaceiras. Os sistemas em que é utilizado um reservatório separado são designados por sistemas de cárter seco.

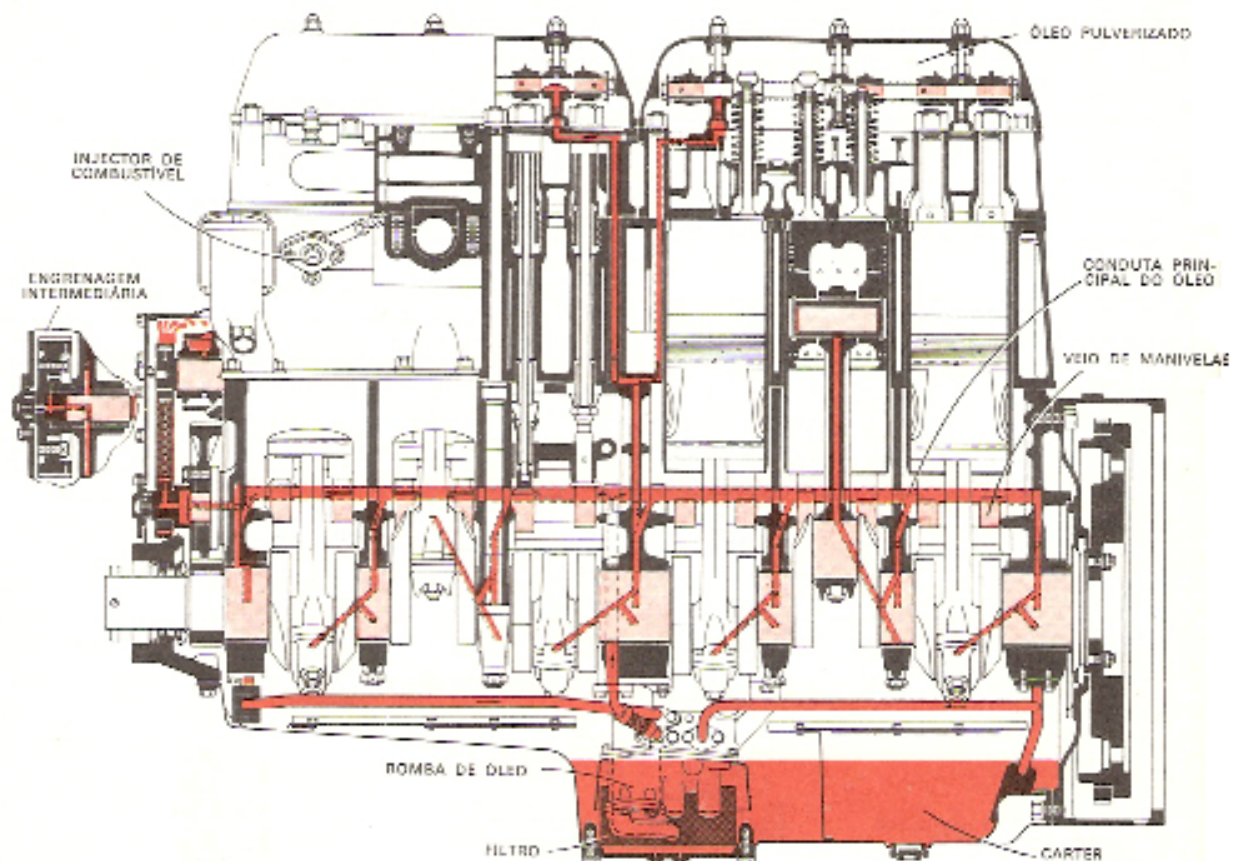


**Fig. 4.5** – Sistema de cárter seco

O sistema de carter seco foi inicialmente criado para veículos de aviação e marítimos, que ao operarem em declives bastante acentuados, necessitam que a lubrificação do sistema se realize de forma contínua, sem que ocorra a sucção de ar do interior do carter. Actualmente o sistema de carter seco é igualmente utilizado em alguns motores de carros de competição, como forma de reduzir o distanciamento do motor ao solo.

Os sistemas empregues em motores, em que o próprio cárter serve de reservatório para óleo, são conhecidos por sistemas de cárter húmido. Nestes sistemas a bomba de óleo, accionada pelo motor, encontra-se na maioria dos casos alojada fora do carter, podendo por vezes estar imersa no seu interior.

Em motores deste tipo a dissipação de calor do cárter é normalmente suficiente para manter as temperaturas do óleo razoavelmente baixas sem o auxílio de um permutador de calor, apesar estes se utilizarem com bastante frequência.



**Fig. 4.6** – Sistema de carter húmido

A pressão do óleo nos tubos de distribuição varia com a velocidade de circulação e depende da sua viscosidade e da resistência oferecida à saída do mesmo nas chumaceiras. A actual pressão de entrega poderá variar entre cerca de  $35 \text{ KN/m}^2$  (0,35 bar) e os  $500 \text{ KN/m}^2$  (5 bar), de acordo com a velocidade do motor. A pressão do óleo à saída da bomba nenhuma relação tem, contudo, com a pressão que a película do óleo na chumaceira é capaz de suportar. (The motor vehicle, 2005)

#### **4.4 - Lubrificação dos Cilindros**

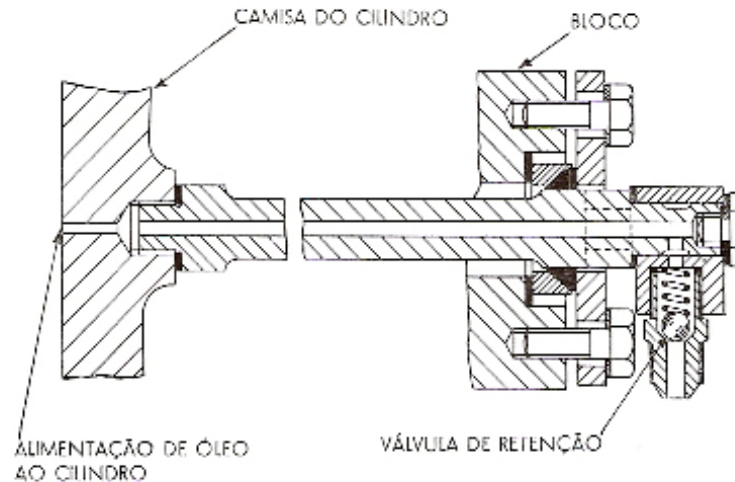
Quando um motor arranca, é essencial que se forme, logo de início, uma película de óleo nas paredes do cilindro.

Nos motores com sistema de lubrificação forçada, a quantidade de óleo projectada das chumaceiras para as paredes do cilindro é em geral mais do que suficiente para a lubrificação daquele e é necessário prever segmentos raspadores, furos de passagem e outros dispositivos para evitar um consumo excessivo de óleo do cárter. Por outro lado, em motores de pequena velocidade, a quantidade de óleo do cárter que chega ao cilindro é relativamente pequena e são então equipados com lubrificadores de pressão para os cilindros, conseguindo-se assim uma lubrificação eficaz com o mínimo consumo de óleo. Em alguns motores de média velocidade, para evitar uma possível falta de lubrificação em algumas partes do cilindro, que pode dar-se mesmo com um elevado consumo de óleo do cárter, são também montados lubrificadores.

Em motores com sistema de lubrificação de perda total, pouco é óleo de lubrificação que chega aos cilindros, sendo portanto necessário prever separadamente a lubrificação dos cilindros.

Os lubrificadores mecânicos são accionados pelo motor, e a regulação da entrega do óleo está directamente relacionada com a posição do êmbolo. No caso dos motores a quatro tempos, é costume fazer a entrada do óleo entre o segundo segmento de compressão e o do topo quando o êmbolo se encontra no ponto morto inferior, contando-se com o êmbolo para levar o óleo a todo o cilindro, mas na prática a posição dos pontos de lubrificação no cilindro varia muito. O número desses pontos também é variável, estando contudo relacionado com as dimensões do cilindro.

O mesmo acontece nos motores de dois tempos de simples efeito, contudo, os pontos de lubrificação devem ser dispostos de acordo com a posição das entradas de ar de lavagem, de forma a evitar que o óleo seja a elas levado pelos raspadores.



**Fig. 4.7** – Lubrificador do cilindro

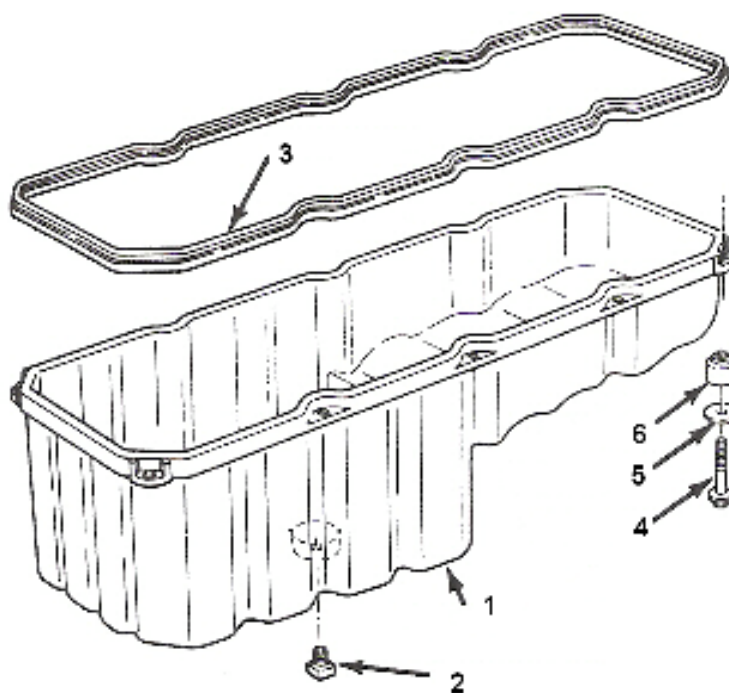
Em geral, todos os pontos de distribuição são providos de válvulas de retenção. Os tubos ficam assim cheios de óleo, quando o motor está parado, e evita-se que a contra pressão introduza ar no sistema. De um modo geral, quanto mais perto estas válvulas estão do ponto de saída do óleo na face da camisa do cilindro tanto mais exacto é o comando da distribuição do óleo.

## 4.5 – Componentes do Sistema de Lubrificação

### 4.5.1 - O cárter

O cárter, fabricado em aço ou alumínio, é o reservatório onde se acumula o óleo, sendo a sua capacidade função das características do motor. Este deve ser um reservatório estanque, de forma a evitar perdas de óleo e a entrada de impurezas, podendo ter várias alhetas na sua periferia, para aumentar a superfície de contacto com o ar exterior, o que facilita o seu arrefecimento por radiação.

Segundo Móbil, o fundo deverá ter uma inclinação de cerca de 8% em direcção ao bujão, que por sua vez, deve localizar-se no ponto mais baixo. Esta disposição permite que ali se acumulem a água e impurezas, facilitando a sua remoção. Nos equipamentos que funcionam em declives acentuados o carter deve apresentar um compartimento interior, onde se encontra a conduta de aspiração, que esteja sempre parcialmente cheio, para que a alimentação nunca seja interrompida. Conforme anteriormente já foi referido, existem determinados motores em que o carter é denominado por carte seco, estando o óleo armazenado num reservatório separado.



**Fig 4.8** – Exemplo de um Cárter

1- Carte 2- Bujão 3- Junta 4- Parafuso de fixação 5- Anilha 6- Elastómero

Considerando as variações de volume de ar no interior do carter, resultantes, fundamentalmente, da passagem de gases do interior dos cilindros, que provocam aumentos de pressão que podem originar fugas de óleo ao nível das chumaceiras, é necessário assegurar a sua ventilação. Para além destes riscos, a "respiração" do carter implica a entrada de gases carregados de vapor de água e de impurezas resultantes da combustão, que poluem o óleo.

Assim, para se assegurar a remoção dos gases é fundamental que o carter seja ventilado, pelo que é necessário a presença de duas ligações, uma para a entrada de ar fresco e outra para evacuação dos gases. A entrada de ar é, normalmente, feita através do bujão de enchimento do carter, ou por uma abertura, na tampa das válvulas, que deve ter um filtro para evitar a introdução de impurezas. A saída do ar e vapores, por sua vez, é feita por uma conduta exterior ou por reaspiração ao nível do colector de admissão, que assegura também a circulação do ar.

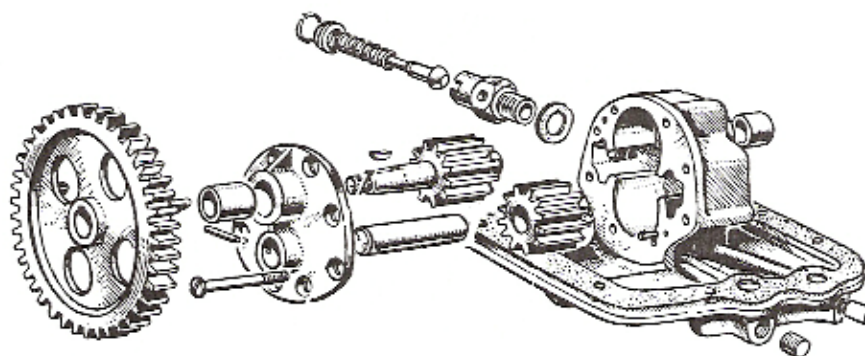


### 4.5.2 - A bomba de óleo

A bomba de óleo aspira o óleo do carter através de uma conduta que tem na extremidade um filtro de rede metálica que retém as impurezas de maior dimensão. O débito da bomba, que é função da potência do motor, deve permitir, logo que o motor começa a funcionar, alimentar todos os pontos de lubrificação, quaisquer que seja a viscosidade do óleo e o regime do motor. As bombas de óleo utilizadas nos sistemas de lubrificação são volumétricas, ou seja, o volume de óleo em cada rotação mantém-se constante, dependendo o seu débito da dimensão e regime da bomba; o débito é independente das contra-pressões ao nível do circuito.

#### 4.5.2.1 - Bomba de carretos

As bombas de carretos, são constituídas comumente por dois carretos de igual diâmetro primitivo de dentes rectos ou helicoidais que engrenam um no outro no interior do corpo da bomba. Um dos carretos, designado por carreto motor, recebe movimento, regra geral da cambota, accionando o carreto movido que roda livremente em torno do seu eixo.



**Fig. 4.9** - Vista explodida de uma bomba de óleo de carretos

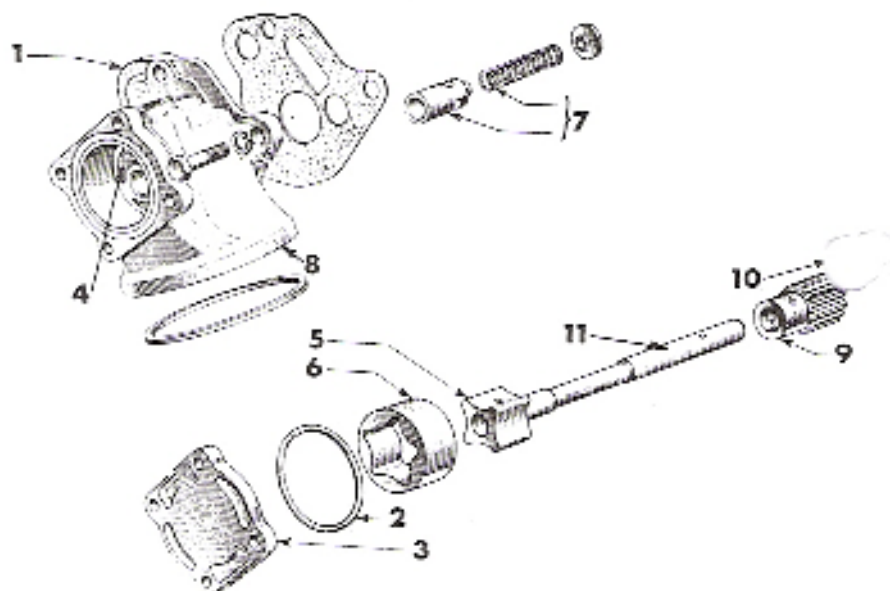
As bombas de carretos atingem pressões bastante elevadas mesmo a baixas velocidades, pelo que necessitam de um limitador de pressão. A pressão conferida ao óleo varia em função da sua viscosidade e da resistência ao escoamento.

Neste tipo de bomba o débito depende do regime de funcionamento, e as fugas, da viscosidade do óleo e da sua temperatura. As fugas devem ser mínimas para se evitar a entrada de ar para o circuito.

A velocidade imprimida ao óleo dada por estas bombas não deve ser muito alta para se evitarem contra-pressões no sistema, nem muito baixa para que a lubrificação se faça logo que o motor se põe em funcionamento. Segundo Santos, a velocidade do óleo é de  $\pm 4$  m/s, sendo o binário necessário para o seu accionamento, quando o motor está frio, de  $\pm 10$  vezes o binário nominal do motor. O período a seguir ao arranque a frio é aquele em que o desgaste é maior.

#### 4.5.2.2 - Bomba de rotores excêntricos

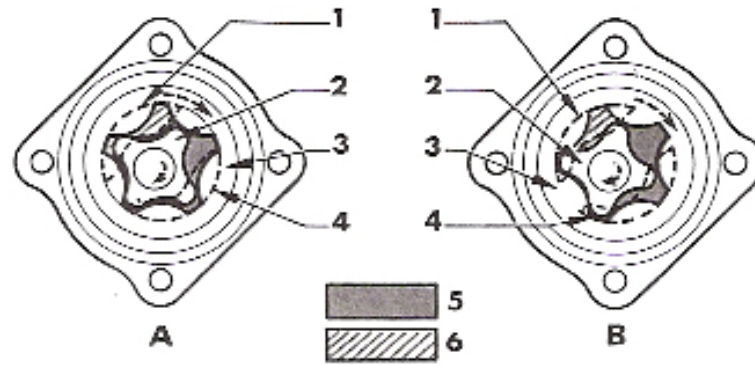
A bomba de rotores excêntricos é uma bomba de engrenagens, á semelhança da bomba de carretos, distinguindo-se da mesma por ser constituída por dois rotores alojados no interior do corpo da bomba, um pelo interior do outro.



**Fig 4.10** – Bomba de Rotores Excêntricos

1- flange 2- vedante 3- tampa 4- orifício de impulsão 5- rotor interior 6- rotor exterior 7- limitador de pressão 8- corpo da bomba 9- pinhão de accionamento 10- freio de fixação do pinhão ao veio 11- veio de accionamento

O rotor interior, designado por carreto motor caracteriza-se por um engrenagem de lóbulos accionado pelo movimento da cambota. O rotor externo por sua vez engrena externamente ao rotor interior, girando de forma louca e dessincronizado do mesmo.



**Fig. 4.11** – Princípio de funcionamento da bomba de rotores de excêntricos

1- orifício de aspiração 2- rotor interior 3- rotor exterior 4- orifício impulsor 5- alta pressão 6- aspiração

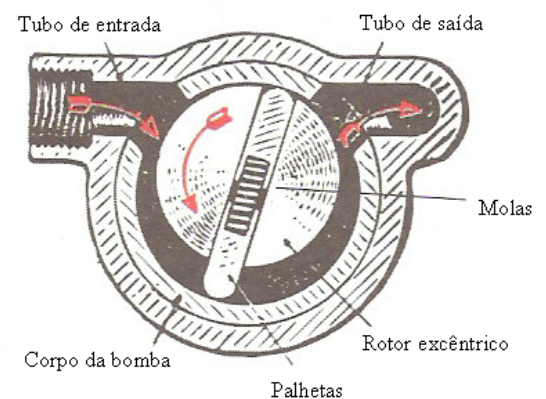
Quando na posição A, o óleo é sugado pelo orifício de aspiração, ficando compreendido entre o rotor interior e o rotor exterior, na zona denominada como zona de aspiração ou de baixa pressão. Ao rodar, o óleo vê-se forçado a deslocar para a posição B, onde devido à excentricidade dos rotores, o espaço entre ambos diminui de tal forma que leva o óleo a ser encaminhado sob elevada pressão para o orifício de saída.

Dado que as bombas de rotores atingem pressões bastante elevadas mesmo a baixas velocidades, deverão estar equipadas com um limitador de pressão.

#### 4.5.2.3 - Bomba de palhetas

A bomba de palhetas caracteriza-se por um corpo cilíndrico, no qual gira no seu interior um rotor de eixo excêntrico, equipado com palhetas que efectuem por arrasto a transferência de óleo desde a zona de entrada até a zona de saída, com um incremento de pressão.

As palhetas mantêm-se permanentemente em contacto com o corpo da bomba por acção da força centrífuga, durante o seu normal funcionamento, bem como, por acção das molas quando em repouso. O desgaste das palhetas devido ao constante contacto com o corpo da bomba durante o seu normal funcionamento é compensado pela tensão das molas sobre as mesmas.

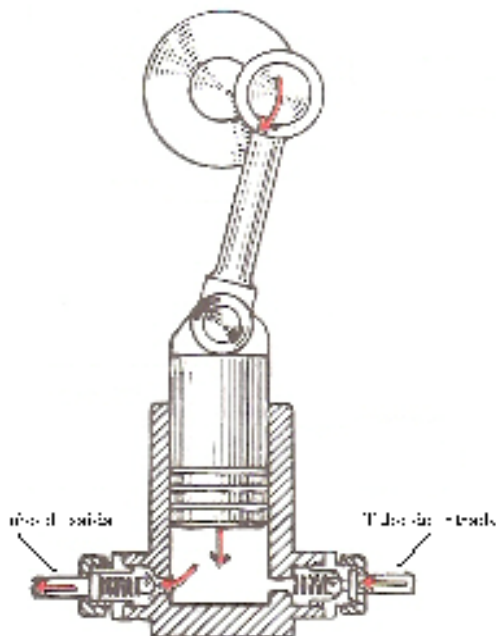


**Fig. 4.12** – Bomba de palhetas



#### 4.5.2.4 - Bomba de êmbolo

A bomba de êmbolo na sua forma mais tradicional consiste num corpo cilíndrico equipado com um pistão, accionado por intermédio de um mecanismo do tipo biela manivela, e equipado com duas válvulas unidireccionais de esferas.



Ao realizar o movimento ascendente o êmbolo aspira o óleo do cárter por sucção, pelo tubo de entrada, enchendo a câmara do cilindro. Uma vez atingido o ponto morto superior, e ao iniciar o movimento descendente, a pressão do óleo no interior da câmara vai aumentando de forma gradual, selando a válvula de entrada, e abrindo a válvula de saída, quando a pressão no interior do cilindro vence a pressão realizada pela força da mola da válvula de saída.

**Fig. 4.13** – Bomba de êmbolo

#### 4.5.3 - As condutas de óleo

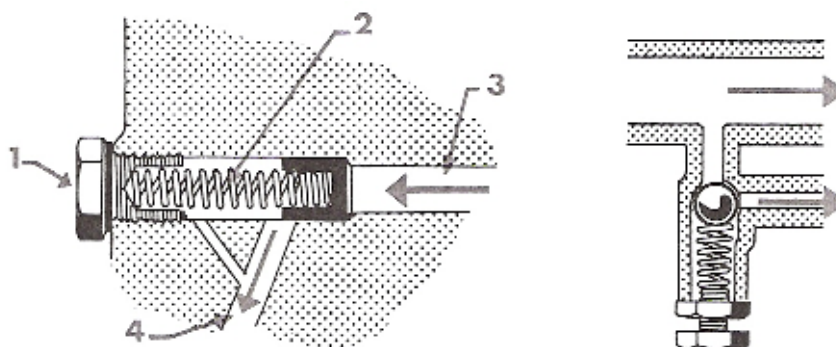
As condutas de óleo, que podem ser exteriores ou interiores ao motor, devem ter um diâmetro que permita o escoamento do óleo com o mínimo de perdas de carga e riscos de entupimento e uma alimentação rápida dos pontos a lubrificar.

As condutas exteriores são geralmente fabricadas em latão, cobre ou aço, e fixas de forma a evitar trepidações. As condutas interiores são perfuradas no bloco motor e na cambota.

#### 4.5.4 - As válvulas de regulação

Para evitar qualquer sobrepressão no circuito de óleo, que pode provocar rupturas nas condutas, filtros ou perdas significativas de potência, o sistema de lubrificação está provido de dispositivos de segurança, designados por válvulas de regulação ou de descarga, que permitem regular o débito e pressão do circuito de óleo.

Assim, para se evitarem os problemas referidos, quando a pressão atinge valores que variam geralmente entre os 3 e os 5 bar, as válvulas deixam passar o óleo para um circuito de retorno. O volume deste óleo pode chegar a representar cerca de 75% do débito da bomba (Santos, 1996).



**Fig. 4.14** – Esquerda - Válvula reguladora de pressão de pistão; Direita – Válvula reguladora de pressão de esfera

1 – Fixação 2 – Mola calibrada com válvula 3 – conduta de alimentação 4 – conduta de retorno

A válvula reguladora de pressão permanecerá fechada até que a pressão do óleo na conduta de alimentação do motor, atinja o limite de pressão admissível em funcionamento.

Quando a pressão do óleo for superior ao limite máximo admissível, a válvula por efeito da mesma, vence a reacção da mola, colocando em comunicação a conduta de alimentação do motor com a conduta de retorno, com a consequente queda de pressão.

Quando a pressão no interior da conduta de alimentação do motor é restabelecida para os seus normais valores de funcionamento, a mola transfere a válvula para a posição inicial de válvula fechada.

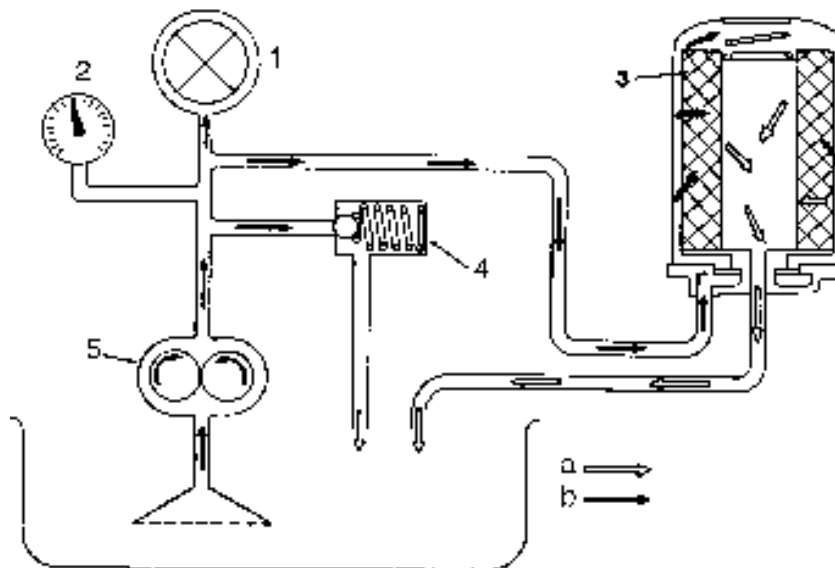
#### 4.5.5 - Os filtros

Os filtros de óleo têm como função reter impurezas, de forma a extrair do óleo lubrificante a maior quantidade possível de resíduos, nomeadamente, metais provenientes do desgaste do motor, sílicas aspiradas do ar e não retidas pelos filtros de ar, impurezas diversas que penetram pelo orifício de enchimento do carter ou pela admissão do ar, bem como, resíduos resultantes da combustão.

A capacidade dos filtros deve ser suficientemente pequena para se encherem rapidamente quando da sua substituição, mas sem originar perdas de carga importantes; a presença dos filtros provoca perdas de carga variáveis conforme a sua constituição, débito de óleo e sua viscosidade.

Consideram-se duas formas de montar os filtros no circuito, designadamente filtros em derivação e em série.

Quando os filtros estão colocados em derivação (paralelo), existem duas alternativas para o trajecto do óleo, uma que conduz o óleo para os pontos de lubrificação e outra que o conduz para o carter através do filtro. O volume de óleo que passa no filtro representa cerca de 5 - 10% do óleo do circuito, o que implica que as bombas utilizadas apresentem um débito relativamente elevado. (Arias-Paz, 1998)



**Fig. 4.15** - Circuito de lubrificação com o filtro montado em paralelo.

1- Chumaceira a lubrificar 2- Manómetro 3- Filtro 4- Válvula de descarga 5- Bomba de óleo

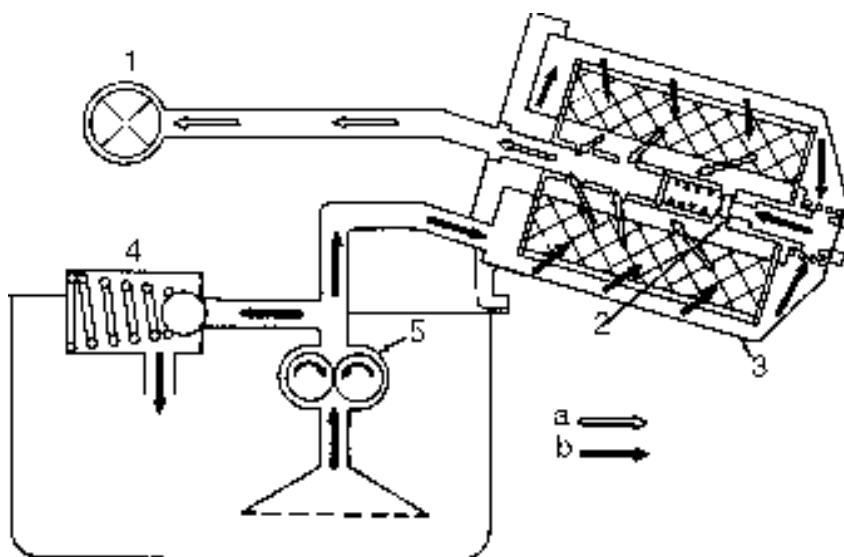
a- óleo filtrado b- óleo não filtrado

Em caso de atascamento, a lubrificação não se altera, nem depende de nenhuma válvula de segurança. Contudo, em tal caso, é como que se o processo de lubrificação estivesse a ser efectuado sem filtro, o que apesar de funcionar perfeitamente, o óleo nunca estaria limpo de todo, dado que o que o óleo em serviço iria de forma cíclica lubrificar os órgãos do circuito e voltar ao cárter, sem nunca passar pelo circuito de filtração.

Nos circuitos de lubrificação com os filtros em série, também designados por circuitos de lubrificação de débito total, todo o óleo proveniente da bomba é filtrado antes de atingir os órgãos a lubrificar, pelo que a superfície filtrante é bastante elevada. Nestes circuitos, e no caso de obstrução do filtro, este cria uma perda de carga que provoca a abertura da válvula de descarga, sendo o óleo conduzido para o carter sem ser filtrado.

Para evitar esta situação utiliza-se uma válvula de derivação ("by-pass"), regulada para uma pressão inferior à válvula de descarga, que permite conduzir o óleo para os diferentes pontos sem passar pelo filtro; esta situação pode-se verificar, também, quando o óleo está frio, em que as perdas de carga ao nível do filtro são grandes.

A passagem do óleo através da válvula de derivação, como resultado da obstrução do elemento filtrante, implica um desgaste do motor superior, em cerca de 30 vezes, ao desgaste verificado em condições normais de funcionamento (Santos, 1996).



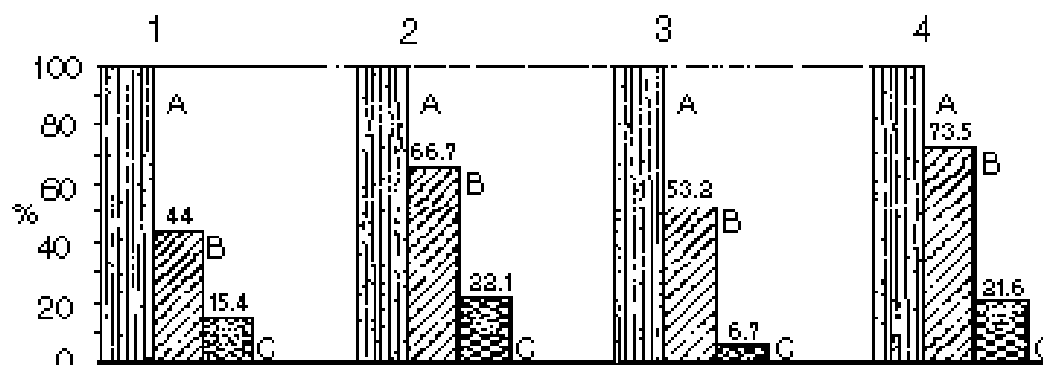
**Fig. 4.16** - Circuito de lubrificação com o filtro montado em série.

1- Chumaceira a lubrificar 2- Válvula de derivação 3- Filtro 4- Válvula de descarga 5- Bomba de óleo  
a - óleo filtrado b- óleo não filtrado

A escolha entre a montagem dos filtros em paralelo ou série, ou seja, entre uma filtragem parcial ou total, nem sempre é fácil. Os filtros montados em série e que realizam uma filtragem total ao óleo que circula no sistema, apresentam uma porosidade, de  $\pm 40 \mu\text{m}$ , de forma a diminuir as perdas de carga, permitem contudo, que as partículas de  $\pm 10 \mu\text{m}$ , que já provocam um desgaste significativo, não sejam retidas. Assim sendo, e de forma a reduzir o

desgaste no motor, esta solução deve ser complementada com um filtro em paralelo, que tem uma malha suficientemente apertada para reter as impurezas com aquela dimensão.

Ensaio efectuado por uma marca conhecida de filtros para testar as diferentes soluções de montagem, deram os resultados apresentados na figura 4.17.



**Fig. 4.17** - Comparação entre os desgastes (%) observados em diferentes partes do motor com diferentes tipos de montagem de filtros.

1- Camisas 2- Casquilhos da cambota 3- Casquilhos da biela 4- Êmbolos

A- Sem filtros B- Filtros montados em paralelo C- Filtros montados em série

A escolha dos filtros é efectuada em função da dimensão e natureza das partículas a reter, das características do óleo, especialmente a viscosidade a quente e frio, nível de filtragem a obter, que é função da tecnologia do motor, do tipo de admissão, das perdas de carga admissíveis na passagem do filtro, o tipo de circuito adoptado (série ou paralelo), condições de utilização, periodicidade das manutenções, potência do motor, débito da bomba, etc.

Assim, e considerando os aspectos enunciados, os filtros podem ser divididos em:

- Filtros metálicos
- Filtros do tipo absorvente;
- Filtros centrífugos;
- Filtros magnéticos.

#### 4.5.5.1 - Filtros metálicos

Nos filtros metálicos o elemento filtrante é uma rede metálica. Estes filtros retêm as partículas maiores, como poeiras metálicas e outras, mas deixam passar contaminantes de menor granulometria, tais como produtos de oxidação insolúveis.

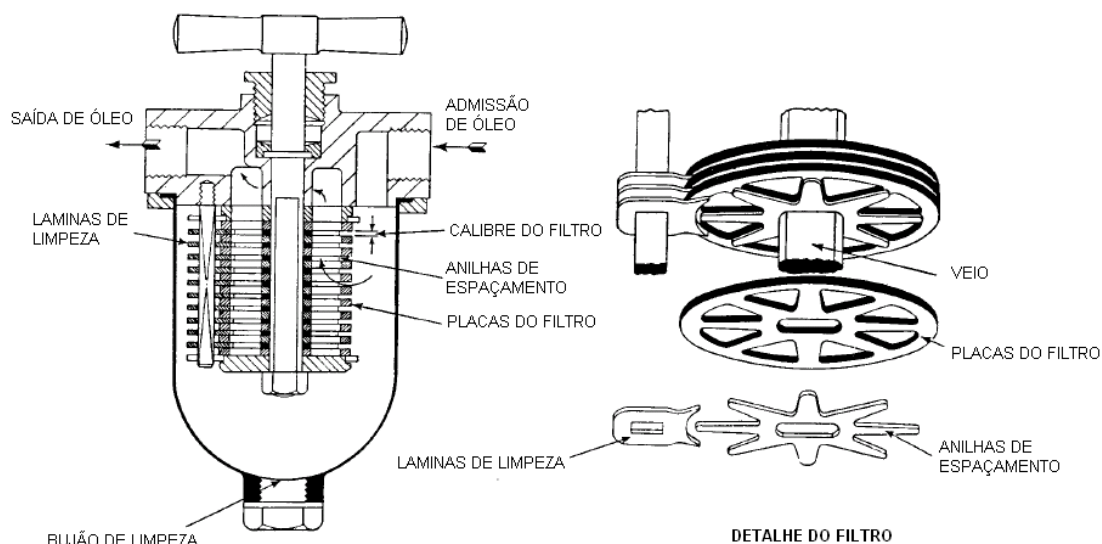


Fig. 4.18 – Filtro metálico

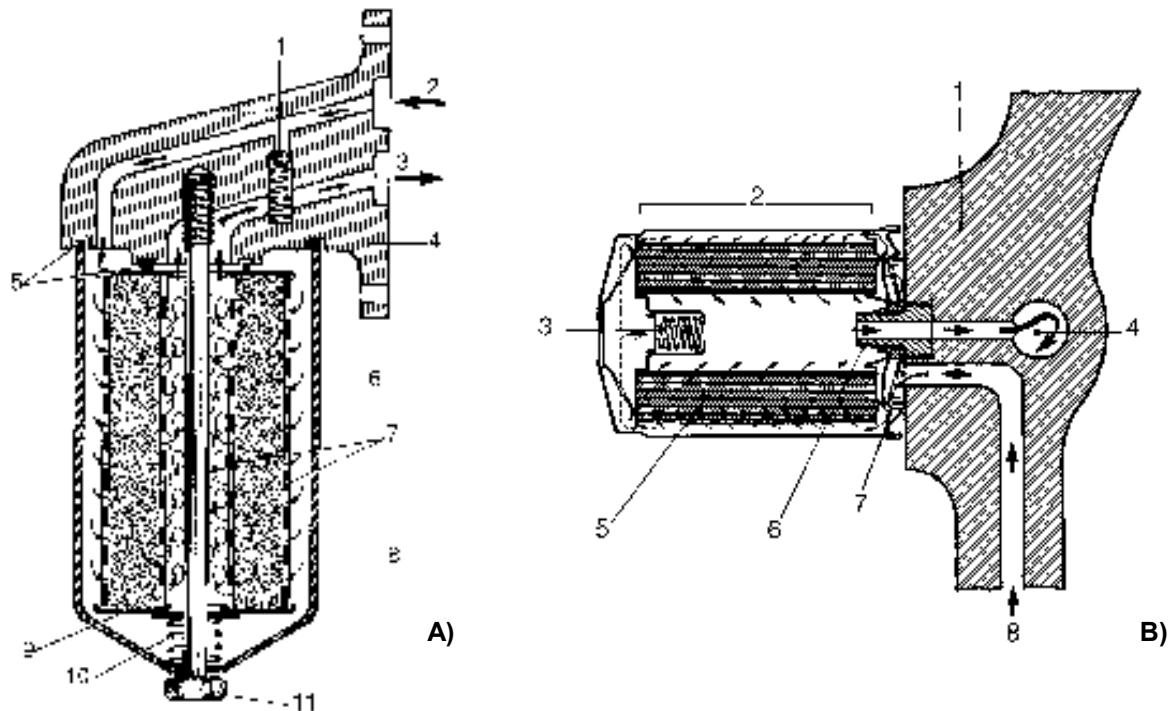
#### 4.5.5.2 - Filtros do tipo absorvente

Os filtros do tipo absorvente são caracterizados por um elemento filtrante (cartucho), e por uma armadura metálica perfurada envolvente.

Estes filtros são mais eficientes que os filtros metálicos, sendo constituídos por elementos contendo matérias muito finamente pulverizadas, papeis embebidos em resinas, aglomerados de fibras, algodão, feltros ou outros tecidos.

Estes filtros para além de reterem as partículas de maior dimensão também retêm as partículas de menor granulometria insolúveis nos óleos, contudo não retêm os produtos contaminantes solúveis no óleo.

O elemento filtrante que constitui o filtro, pode ser do tipo substituível (filtro com elemento filtrante substituível) ou formar um conjunto com o corpo do filtro (filtro de óleo monobloco), que se enrosca directamente no bloco motor.



**Fig. 4.19** - Representação de um corte de um filtro com elemento filtrante substituível (A) e de um filtro de óleo monobloco (B)

**A:** 1- Válvula de derivação 2- Entrada de óleo 3- Saída de óleo 4- Corpo do filtro 5- Juntas 6- Papel filtrante 7- Armaduras metálicas 8- Campânula 9- Elemento filtrante 10- Mola 11- Parafuso de fixação

**B:** 1- Bloco motor 2- Elemento filtrante monobloco 3- Válvula de derivação 4- Saída do óleo para as diferentes partes do motor 5- Papel filtrante 6- Rosca 7- Junta do filtro 8- Chegada de óleo

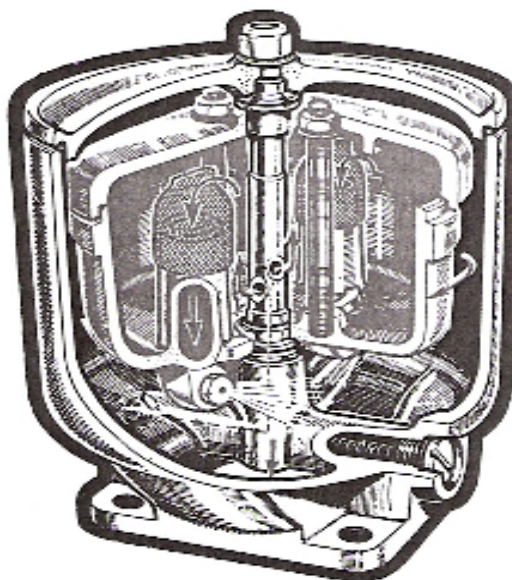
No seu trajecto o óleo entra pela periferia e sai pelo centro do cartucho, ou seja, circula do exterior para o interior do filtro. À entrada deste existe uma válvula anti-retorno que evita que o óleo regresse à bomba quando o cartucho está colocado a um nível elevado e com o orifício de entrada de óleo para baixo.

#### 4.5.5.3 - Filtros centrífugos

Os filtros centrífugos utilizam a velocidade de circulação do óleo e a forma da trajectória do fluído para, a partir da massa das impurezas, fazer a sua separação do óleo.

Estes filtros são de dois tipos, os giratórios e os fixos. São dispositivos bastante caros, dado que exigem uma construção muito cuidada e de equilíbrio perfeito, razão pela qual a sua aplicação se associe regra geral a motores de grande dimensão.

Os filtros giratórios têm uma cuba, cheia de óleo, que gira como reacção ao débito de óleo que sai a grande velocidade de dois pulverizadores diametralmente opostos; o regime da cuba depende do diâmetro dos orifícios dos pulverizadores e da sua distância assim como da viscosidade e temperatura do óleo. Como resultado do movimento da cuba as impurezas do óleo são centrifugadas, ficando "coladas" à sua parede, saindo o óleo filtrado pelos pulverizadores.



**Fig. 4.20** – Secção de um filtro centrífugo Glacier GF1

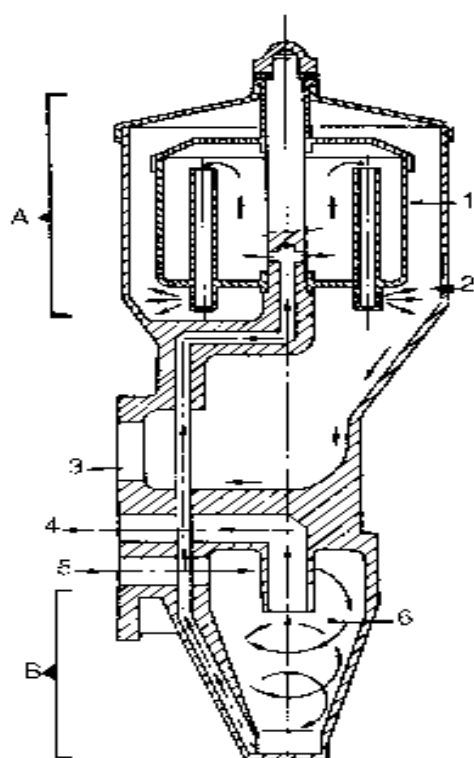
Segundo Revue Thecnique Automobile, a velocidade de rotação dos filtros centrífugos giratórios é da ordem dos 45 a 60.000 r.p.m, estando contudo condicionada ao par de reacção que depende de:

- Características construtivas: diâmetro das condutas de óleo, e distância que as separa;
- Condições de funcionamento: valor da pressão, viscosidade e temperatura do óleo em circulação.

Os filtros centrífugos fixos, do tipo ciclone, têm um corpo em forma de cone invertido ao qual chega o óleo, segundo uma trajectória tangencial, saindo filtrado pela parte superior central; o movimento de rotação a que o óleo é sujeito obriga à deposição das impurezas no fundo do corpo.

Como se pode observar na figura 4.21, as duas soluções anteriores podem ser utilizadas ao mesmo tempo, pois o óleo filtrado proveniente do filtro fixo vai para o circuito de lubrificação e o que contém impurezas é conduzido para o giratório para ser filtrado.



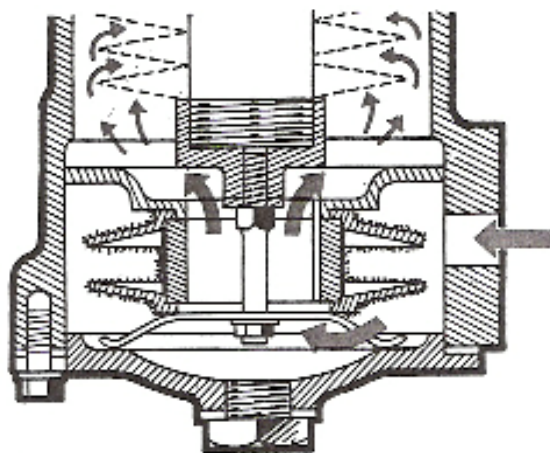


**Fig. 4.21-** Representação de um conjunto de dois filtros centrífugos, um do tipo giratório e outro do tipo fixo.  
A- Filtro centrífugo giratório B- Filtro centrífugo fixo  
1- Cuba rotativa 2- Pulverizador 3- Saída de óleo do filtro giratório 4- Saída de óleo do filtro fixo para o circuito 5- Entrada de óleo 6- Separação das partículas em suspensão no óleo

#### 4.5.5.4 - Filtros magnéticos

Especialmente concebidos para reter partículas metálicas resultantes do natural desgaste por contacto metálico, não representa por si só uma mais valia pois tornam-se de todo ineficazes no que concerne à retenção de partículas não metálicas.

A parte essencial deste dispositivo são os vários discos magnetizados situado no interior de um cartucho, que atraem as partículas metálicas em suspensão no óleo.



**Fig. 4.22** - Secção esquemática de um filtro magnético

#### **4.5.6 - O permutador de calor**

Os permutadores de calor são, normalmente, utilizados nos motores de grande potência, ou nos motores em que a refrigeração do óleo é insuficiente, e têm como função dissipar o calor absorvido pelo óleo durante o seu trajecto no circuito de lubrificação; os permutadores são fundamentais nos motores sobrealimentados devido à existência de partes do motor com temperaturas muito elevadas.

Relativamente à sua colocação no motor pode ser interior ou exterior, sendo a sua constituição baseada num conjunto de tubos colocados num carter, no interior do qual circula o líquido de refrigeração que aquece em contacto com o óleo, sendo depois o calor dissipado no radiador.

No que diz respeito à sua posição, relativamente ao circuito de lubrificação, os permutadores podem ser montados em paralelo (derivação) ou em série.

Quando em paralelo (derivação), o permutador é alimentado através de um termóstato que evita que o óleo o atravessasse quando a baixas temperaturas, sendo apenas atravessado pelo óleo quando este atinge cerca de 70°C, evitando perdas de carga elevadas devido à viscosidade do lubrificante.

Quando o permutador está montado em série é atravessado pelo óleo, mesmo quando este está frio; neste caso, o líquido de refrigeração que aquece mais rapidamente que o óleo faz com que este atinja mais depressa a temperatura de funcionamento. Neste tipo de montagem, o filtro de óleo deve estar colocado depois do permutador, para que a temperatura daquele seja a mais alta possível, diminuindo-se assim as perdas de carga.

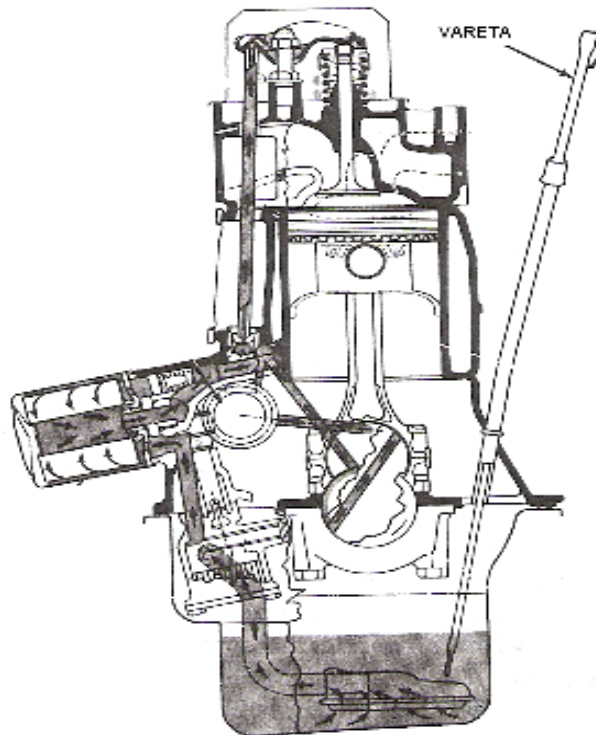
Nos motores refrigerados a ar a presença dos permutadores é ainda mais importante que nos motores refrigerados a água, sendo que nesses casos, a perda de calor é dada num permutador ar-óleo.

#### **4.5.7 - Os órgãos de controlo e de segurança**

Os órgãos de controlo e de segurança permitem ao operador conhecer o estado de funcionamento do sistema de lubrificação e indicar o aparecimento de qualquer anomalia.

Um dos elementos de controlo é o indicador de nível ou vareta do óleo, usado para quantificar o nível de óleo do carter. Na vareta encontra-se gravado o "mín" e o "máx" ou seja, o nível mínimo e máximo que o óleo deve ter no carter.

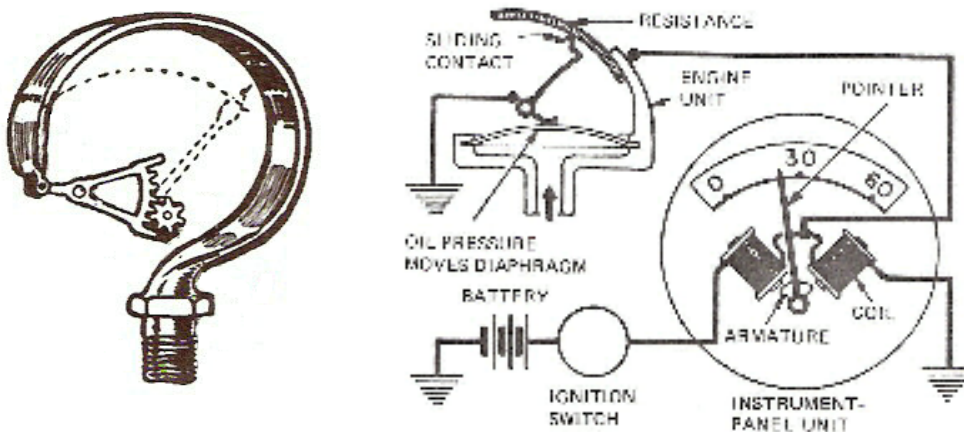
Quando posicionada no motor a vareta estende-se pelo seu interior ficando com a sua extremidade banhada no óleo em repouso no carter, deixando apenas acessível uma asa de manuseamento. Para fins de inspecção, deve-se proceder à sua extracção do interior do motor e observar qual o nível de óleo que marca na vareta face ao nível máximo e mínimo gravado na mesma.



**Fig. 4.23** – Vareta para controlo do nível de óleo

Outro elemento é o indicador de pressão que pode ser um manómetro ou um avisador luminoso. O manómetro, que pode ser mecânico ou eléctrico, indica o valor da pressão do óleo na conduta principal do bloco; os manómetros mecânicos

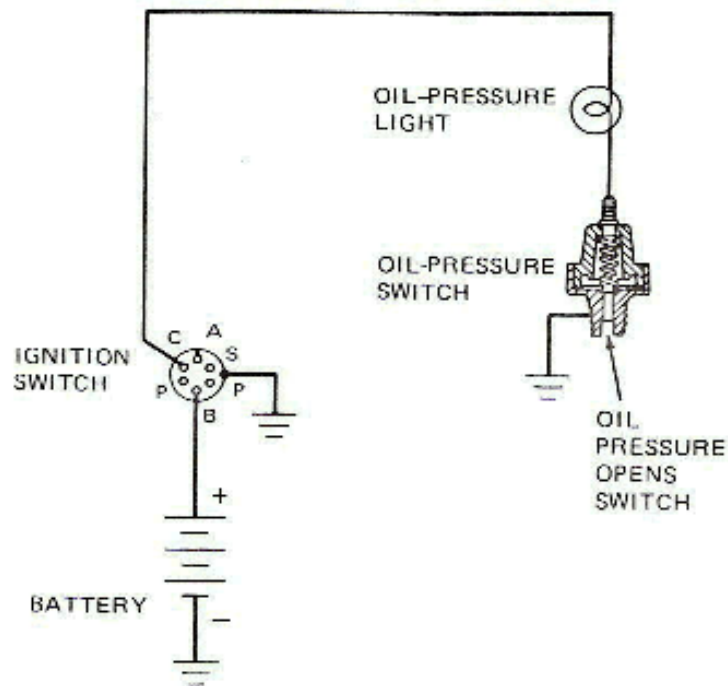
(clássicos) têm uma peça deformável em função da pressão do óleo, que está ligada a uma agulha de leitura; o sistema eléctrico é constituído por um sensor que transforma a pressão do óleo num sinal eléctrico, que é transmitido a um receptor, colocado no painel de controlo, que converte esse sinal numa indicação visual.



**Fig. 4.24** – Indicador de pressão de óleo

Esquerda - Indicador de pressão mecânico; Direita - indicador de pressão eléctrico

O avisador luminoso compreende um sensor calibrado com um dado valor, semelhante a um interruptor, que é accionado pela pressão do óleo; se a pressão desce para além de um valor mínimo, o interruptor fecha-se deixando passar corrente eléctrica que acende uma lâmpada colocada no painel de instrumentos.



**Fig. 4.25** – Circuito eléctrico de luz avisadora de pressão de óleo

## Capítulo 5 – CASOS DE ESTUDO

No presente capítulo intitulado de “Casos de Estudo” será efectua a abordagem a quatro motores Diesel de aplicações distintas, procurando analisar-se de forma pormenorizada os seus sistemas de lubrificação e comparar os mesmos, com os sistemas de lubrificação teóricos, anteriormente abordados.

Na base da exposição encontra-se a documentação técnica proveniente das escolas de formação da IVECO e da divisão técnica da Caterpillar, que de forma pormenorizada aborda os diversos sistemas que compõem os respectivos motores, de entre os quais os sistemas de lubrificação, seus componentes e modo de funcionamento.

Tratando-se de documentação técnica, julgo conseguir reunir numa linguagem clara e acessível os princípios essenciais e noções básicas de funcionamento dos sistemas que compõem cada um dos motores, tirando-se igualmente partido do excelente grafismo das ilustrações, em especial da documentação proveniente da IVECO, que em muito ajudam a compreender o funcionamento dos mesmos.

A informação proveniente dos sites oficiais de cada uma das marcas, entre outras, tornaram igualmente possível a obtenção de informação de carácter generalista relativamente a cada uma delas e seus produtos, nomeadamente, seus veículos comerciais e suas gamas, motorizações, suas especificações, bem como num computo mais alargado, de informação relativamente aos sistemas que os constituem.

### 5.1 - Sistema de Lubrificação do Motor IVECO da Gama DAILY

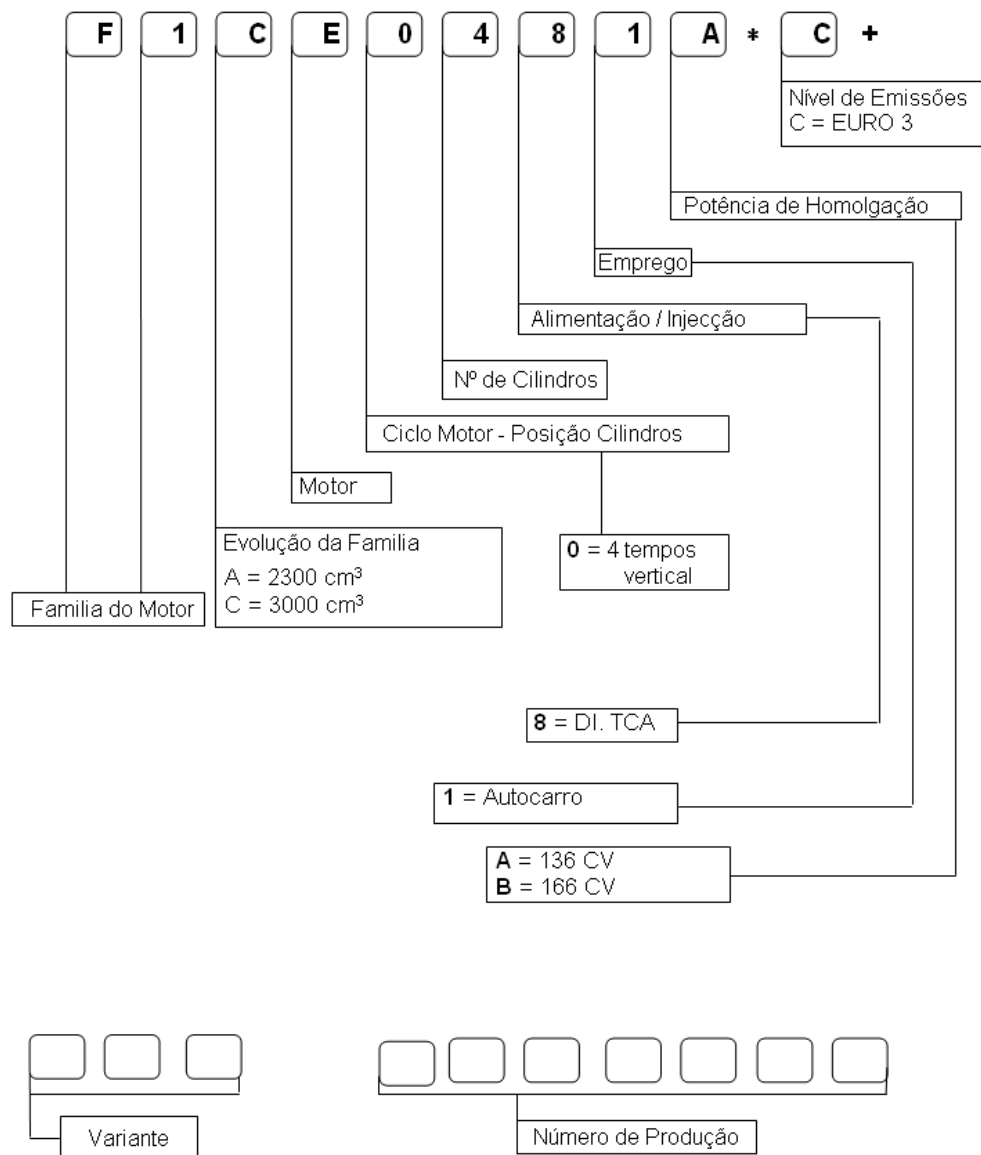
#### 5.1.1 – Apresentação do motor

O presente motor destina-se a equipar os veículos ligeiros da marca IVECO, nomeadamente a gama de veículos Daily.

Dentro dos veículos ligeiros da gama Daily, e em função da sua gama de utilização, poderá optar-se por um motor *HPI* (motor de geometria fixa) com 2,3 Litros de cilindrada ou por um motor *HPT* (motor de geometria variável) com 3,0 Litros de Cilindrada.

A codificação de cada motor será efectuada de acordo com a nomenclatura adoptada pela marca, tendo esta em linha de conta a família do motor e sua evolução e, ao nível do motor, o

número de tempos de funcionamento e o número de cilindros, os tipos de alimentação e injeção, os níveis de potência e o nível de emissões gasosas, conforme a ilustração seguinte.



**Fig. 5.1** – Esquema de codificação dos motores ligeiros da gama Daily

No presente caso de estudo, iremos abordar o motor de maior cilindrada e mais evoluído, que equipa os veículos ligeiros da gama Daily.

Trata-se, pois, de um motor de 4 Cilindros em Linha a 4 Tempos, com uma Cilindrada de 3000 cm³ e uma potência de 136 ou 166 CV pelo que, de acordo com a codificação da marca, se enquadra na Família de Motores 1, tomando, no que diz respeito à evolução da família, a Referência C.

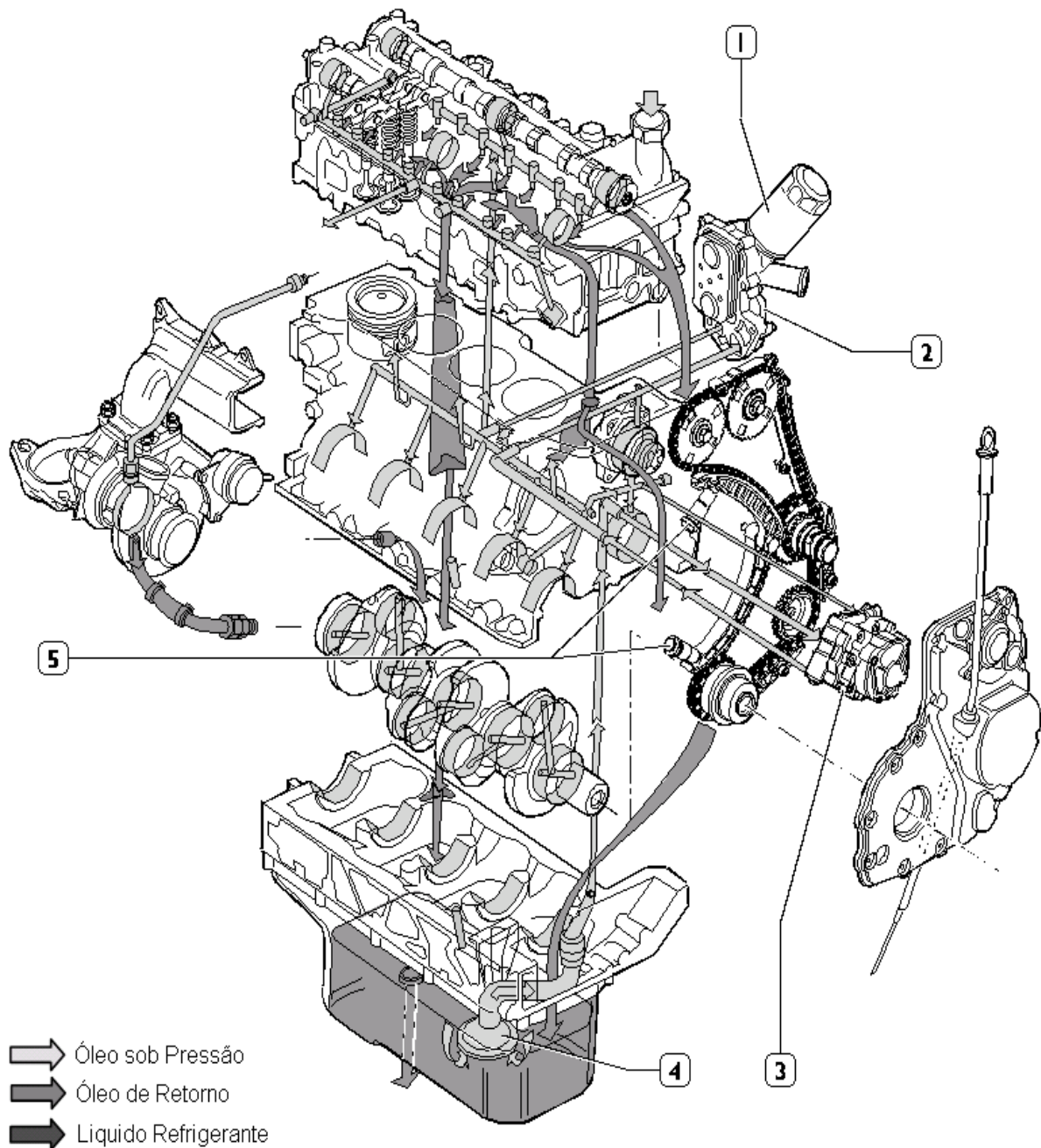
**Quadro 5.1** – Motores da gama Daily

<b>Motores da Gama Daily</b>	
<b>(F1A)</b>  <b>2,3 Litros</b> <b>(95 e 105 CV)</b>	<b>(F1C)</b>  <b>3,0 Litros</b> <b>(136 e 166 CV)</b>

Dado que o nosso estudo irá incidir exclusivamente no seu Sistema de Lubrificação, podemos de forma sucinta mencionar que o mesmo será do tipo forçado, sendo constituído pelos elementos principais a seguir mencionado:

- Bomba de óleo de carretos incorporada num grupo que engloba um depressor;
- Válvula reguladora de pressão incorporada na bomba de óleo;
- Permutador de calor equipado com cinco elementos para dissipação do calor;
- Filtro de óleo simples com válvula de segurança incorporada.

### 5.1.2 – Princípio de funcionamento do sistema de lubrificação do motor F1C

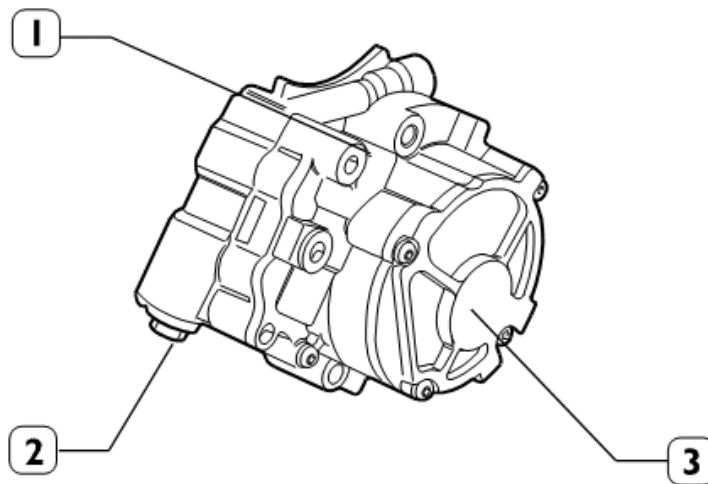


**Fig. 5.2** – Circuito de lubrificação do motor F1C (IVECO Daily)

O fluxo de óleo lubrificante começa por ser aspirado pela bomba de óleo [3], a partir do interior do depósito de retenção ou cárter, através do chupador de óleo [4] que se encontra mergulhado no fluido lubrificante, sendo conduzido por um tubo rígido interno de sucção ao grupo bomba de óleo e depressor [3].

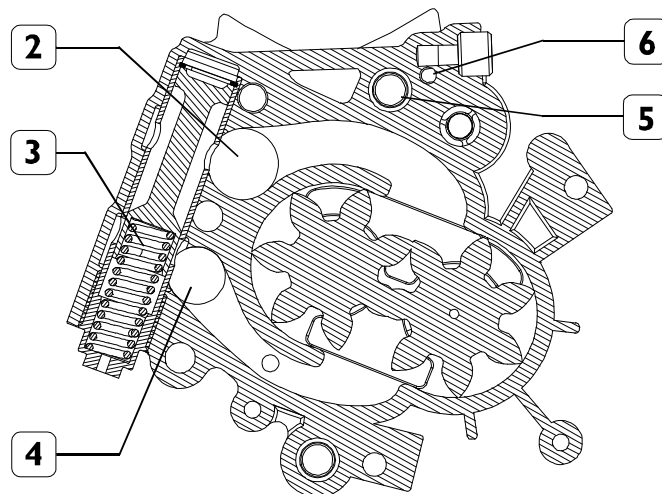


O grupo bomba de óleo e depressor (G.B.O.D) é formado por uma bomba de óleo do tipo de carretos [1], uma válvula reguladora de pressão [2] e um depressor [3].



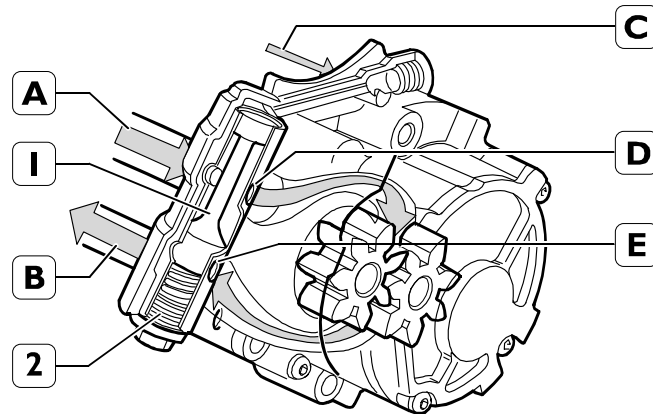
**Fig. 5.3** – Vista em perspectiva do grupo bomba de óleo depressor

Este permitirá efectuar a sucção do óleo lubrificante do cárter e, a um regime máximo de 4,4 Bar, controlado pela válvula reguladora de pressão, efectuar o envio do óleo lubrificante aos restantes órgãos e circuitos do sistema.



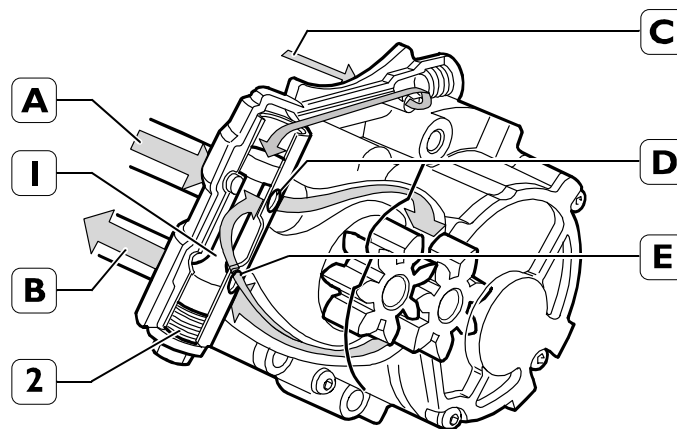
**Fig. 5.4** – Vista em corte do grupo bomba de óleo depressor

A válvula reguladora pressão [1] tem por objectivo promover o alívio da pressão no sistema, durante o arranque a frio, bem como regular a pressão do óleo durante todo o período de funcionamento do motor.



**Fig. 5.5** – Válvula reguladora de pressão em circuito fechado

A válvula reguladora de pressão permanecerá fechada até que a pressão do óleo na conduta [C] atinja a pressão de 4,4 bar.

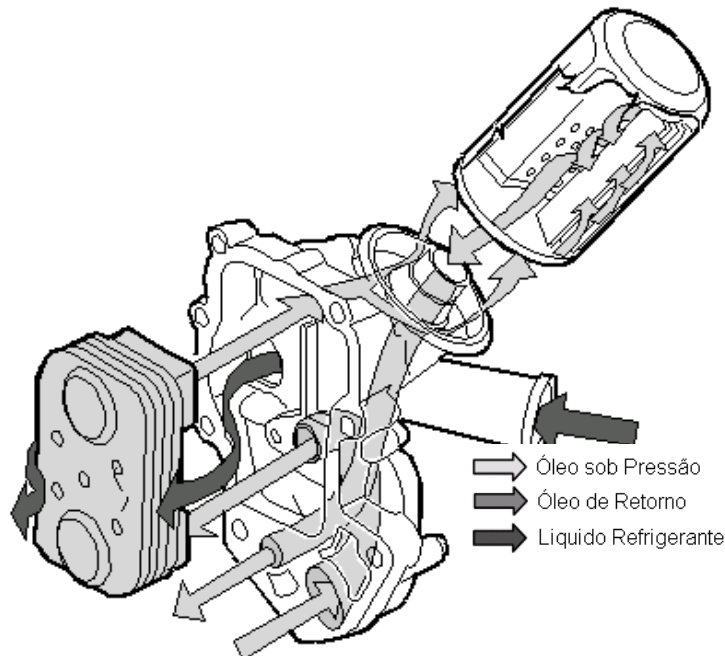


**Fig. 5.6** – Válvula reguladora de pressão em circuito aberto

Se na conduta C, a pressão do óleo for igual ou superior a 4,4 bar, a válvula [1], vence a reacção da mola [2] e coloca em comunicação a conduta de aspiração [A] com a conduta de envio [B], através do furo de descarga [D] – [E], com a consequente queda de pressão.

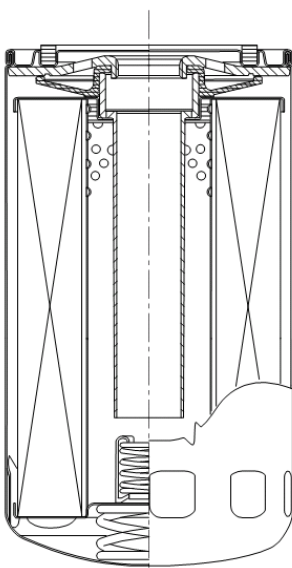
Quando a pressão desce abaixo do valor 4,4 bar, a mola [2] transfere a válvula [1] para a posição inicial de válvula fechada.

Do Grupo Bomba de Óleo, o óleo é enviado sob pressão para o permutador de calor onde, por intermédio da água (fluido de arrefecimento do motor), que circula ao redor dos elementos de dissipação de calor do permutador, irá promover o arrefecimento do óleo durante o processo de passagem pelo interior do mesmo.



**Fig. 5.7** – Permutador de calor

Do permutador de calor, o óleo é enviado ao filtro de óleo, através de uma passagem no interior do mesmo.

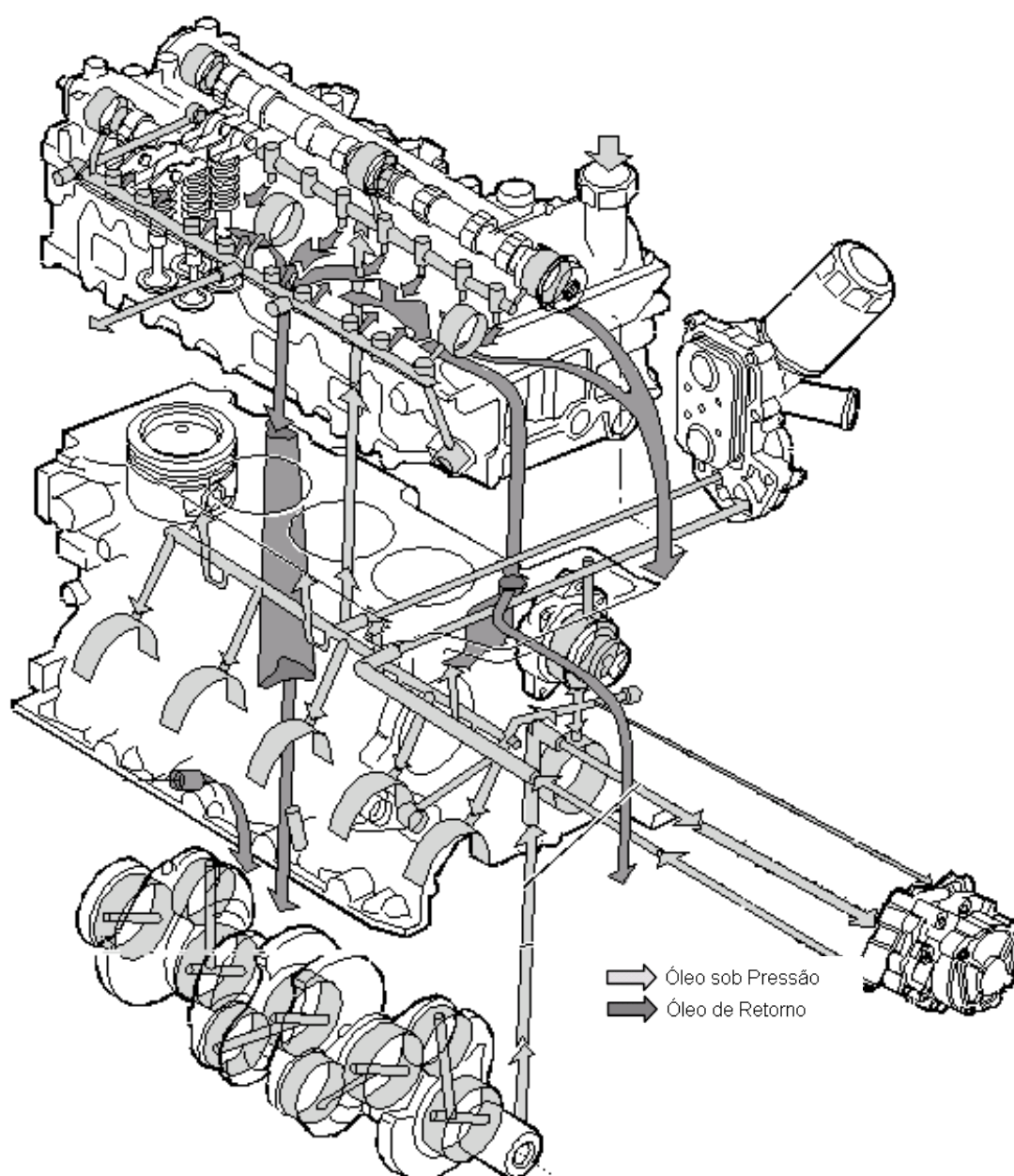


O filtro de óleo do motor é do tipo simples e encontra-se equipado com uma válvula de By-Pass, regulada para uma pressão de abertura a cerca de 2,5 bar, de forma a manter a pressão no sistema sempre constante, mesmo em caso de obstrução do filtro.

Assim sendo, se a passagem do óleo através do filtro criar uma pressão no circuito igual ou superior a 2,5 bar, a válvula de segurança abrir-se-á, permitindo assim que o óleo possa ser desviado do circuito filtrante, por forma a que continue a circular no sistema garantindo assim a permanente lubrificação do mesmo.

**Fig. 5.8** – Filtro de óleo

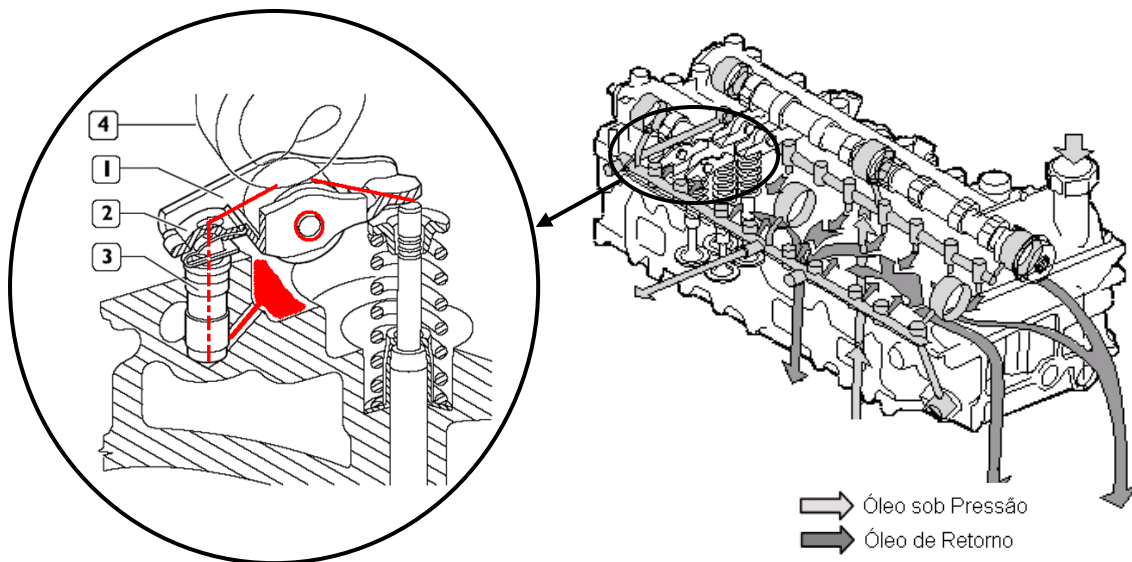
Após arrefecido e filtrado, o óleo flui através de uma passagem transversal até à galeria principal, que vai de ponta a ponta do motor no seu sentido longitudinal e na qual, através de diversas passagens transversais individuais e, por intermédio de canais maquinados no bloco do motor, é efectuada a alimentação de óleo aos lubrificadores dos cilindros, á zona da cabeça dos cilindros e circuito de lubrificação do turbo-compressor, bem como, aos moentes e chumaceiras da cambota, onde por intermédio de canais maquinados é enviado sob pressão às chumaceiras das bielas.



**Fig. 5.9** – Galeria principal de alimentação dos canais de lubrificação

Quando na zona da cabeça de cilindros, conforme ilustrado na figura 5.10, o óleo lubrificante efectuará em simultâneo, a lubrificação aos apoios e moentes da árvore de cames, bem como, a alimentação de óleo às touches hidráulicas [3], que por efeito da pressão gerada no circuito, permitirão garantir um contacto em permanente entre a árvore de cames [4] e os martelos das válvulas [1] que se encontram solidários às mesmas por intermédio de um grampo de fixação [2], de forma a compensar o natural desgaste dos elementos em contacto, evitando assim, a periódica afinação manual do sistema de abertura e fecho de válvulas.

Simultaneamente ao ajuste hidráulico das touches será ainda efectuada a lubrificação aos martelos das válvulas e roletes de apoio da árvore de cames, por intermédio de canais internos nas touches, conforme ilustrado na figura 5.10.

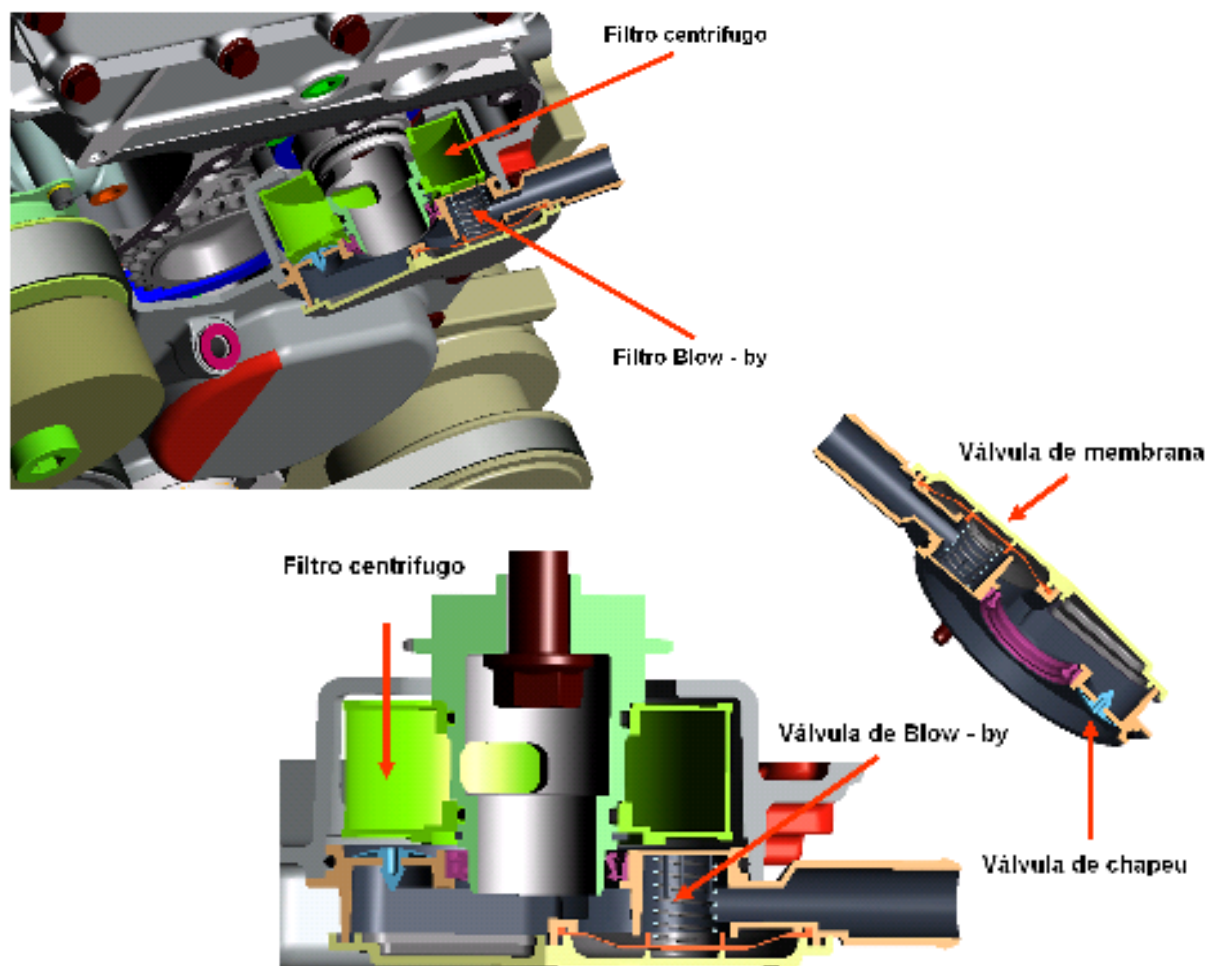


**Fig. 5.10** – Lubrificação das touches, Martelos, roletes e árvore de cames

Parte dos gases libertados pelo motor durante o processo de combustão, passam através dos segmentos dos pistões para o carter, misturando-se com os vapores de óleo aí presentes no interior do mesmo.

A mistura acumulada no carter, é por intermédio de canais maquinados no bloco enviada à zona superior de funcionamento da corrente de distribuição, onde será parcialmente separada do óleo, através de um dispositivo situado na parte superior da tampa da distribuição e inserido

no circuito de admissão de ar. O dispositivo é constituído essencialmente por um filtro centrífugo, apoiado no veio de comando da bomba de alta pressão / veio de distribuição, e por uma tampa onde se encontram alojadas uma válvulas de membrana e uma válvula de chapéu, que normalmente se encontram fechadas.



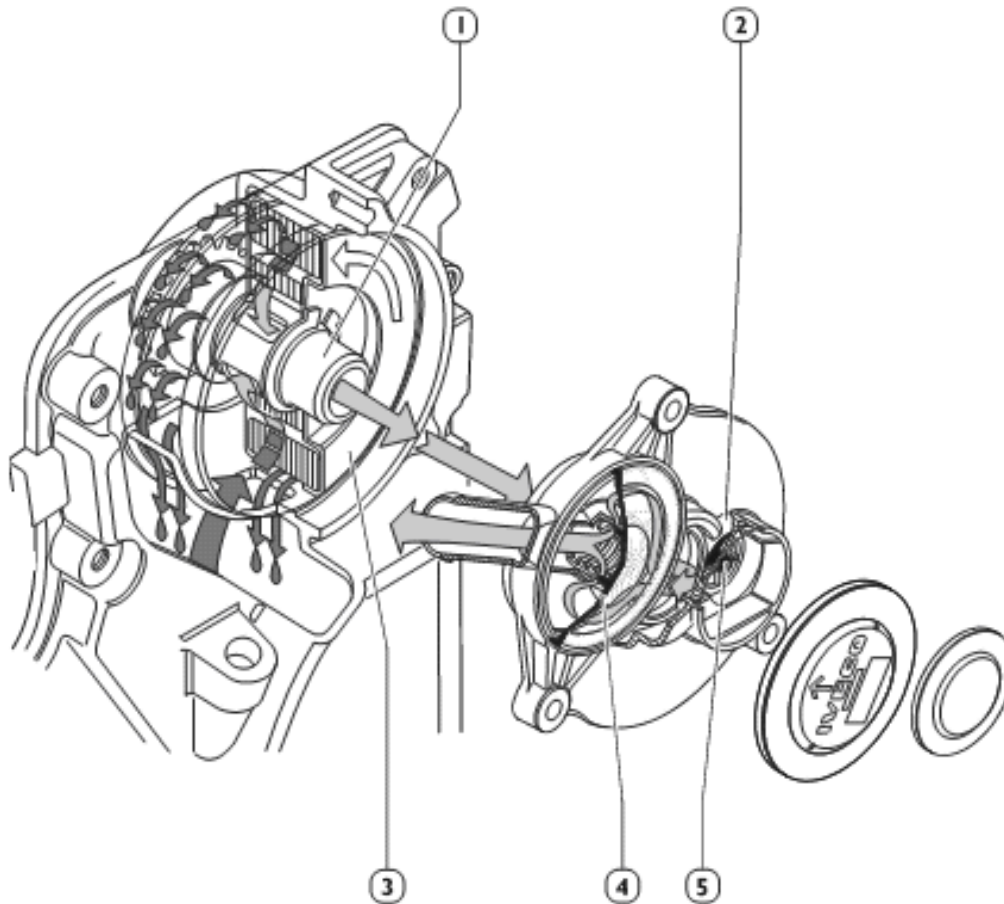
**Fig. 5.11** – Dispositivo de recolha de vapor de óleo (blow-by-centrifugo)

No que diz respeito ao seu modo de funcionamento, conforme se ilustra na figura 5.12, podemos referir que a mistura composta por vapores de óleo e gases libertados durante o processo de combustão, é parcialmente separada no filtro centrífugo [3], que por efeito da força centrífuga, tende a concentrar as partículas de óleo sobre a superfície cilíndrica da câmara. As partículas de óleo que aí se condensam serão descarregadas na zona de funcionamento da corrente da distribuição, aquando da abertura da válvula de chapéu [5], como resultado de uma perda de pressão na zona da distribuição, associado à paragem do motor.

A mistura gasosa depurada do óleo é por sua vez encaminhada pelo interior do veio [1] à válvula de membrana [4], juntando-se a montante com ar de admissão que alimentam o turbo-



compressor. A abertura e fecho da válvula de membrana [4], é efectuada em função do diferencial de pressão entre zona interna da câmara da membrana [4] e a zona da admissão.



**Fig. 5.12** – Vista explodida do dispositivo de recolha de vapor de óleo (blow-by-centrifugo)

### 5.1.3 – Enquadramento nos Sistemas Teóricos de Lubrificação

O sistema de lubrificação do motor que se destina a equipar os veículos ligeiros da marca IVECO, nomeadamente a gama de veículos DAILY, enquadra-se nos tradicionais sistemas de lubrificação do tipo forçado, dado que, o óleo lubrificante é forçado a chegar sob pressão a todas as partes rotativas do motor, como é o caso dos moentes e chumaceiras da cambota, moentes e chumaceiras das cabeças das bielas, bem como, aos moentes e casquilhos do veio da árvore de cames.

A adopção de tal sistema de lubrificação neste motor deve-se essencialmente ao facto de estarmos perante um motor muito rotativo, e que pelo facto de se destinar a equipar veículos de médio/longo curso, é forçado a trabalhar em regimes variáveis, pelo que se torna extremamente necessário de garantir uma eficiente e continua lubrificação de todas as partes móveis rotativas do circuito, nos seus diversos regimes de funcionamento.

No que diz respeito ao local de armazenamento do óleo do motor, quando em repouso e em serviço, podemos constatar que se trata de um motor cujo carter é utilizado como reservatório e simultaneamente como tanque de serviço, pelo que se classifica como um tradicional sistemas de cárter húmido.

Este carter designado como do tipo suspenso com junta de borracha, não apresenta o tradicional sistema de fixação por ligação aparafusada de forma directa ao bloco. Assim sendo, suas abas permanecerão fechadas no interior de uma espessa junta de borracha em “C”, sendo todo o conjunto suportado por um elemento em alumínio, aparafusado ao bloco do motor. Esta solução permitirá melhorar a sua retenção e os níveis de ruído, apesar de necessitar de um número inferior de parafusos de fixação, comparativamente com os tradicionais sistema. Outra vantagem é que não é necessário substituir a junta em cada desmontagem.

A necessária alimentação de óleo lubrificante sob pressão ao circuito é garantida por recurso a uma bomba de óleo do tipo de carretos. Esta opção, alem de permitir fornecer um adequado caudal de óleo face às exigências de pressão do circuito em diferentes regimes, apresenta, quando comparado com as bombas de embolo, de rotor excêntrico, ou bombas de palhetas, um reduzido desgaste ao fim de longas horas de serviço, o que se traduz numa quase e inexistente perda de carga no circuito.

Inserido no seu circuito de lubrificação encontra-se um permutador de calor, que se justifica pelo simples facto de se tratar de um motor sobrealimentado por intermédio de um turbo-compressor. A sua utilização tem assim em vista a dissipação da elevada quantidade de calor gerada no seu interior, e que de outra forma seria insuficiente.

No que se refere ao seu posicionamento no circuito de lubrificação, podemos constatar que se trata de um permutador exterior montado em série, dado que todo óleo lubrificante é forçado a passar pelo seu interior mesmo quando em frio. Tal opção justifica-se pelo simples facto de estarmos perante um motor de relativamente pequena dimensão, ou seja, com um circuito de lubrificação relativamente pequeno, pelo que as perdas de cargas induzidas pela sua



passagem no interior do permutador não são relevantes ao ponto de prejudicarem a lubrificação aos pontos mais distantes do circuito. Outra das razões que favorece o posicionamento do permutador em série para um motor de tais dimensões, é o facto de que ao ser obrigado a passar pelo seu interior mesmo em frio, é forçado a atingir a temperatura ideal de funcionamento de forma mais rápida, dado que beneficia da transferência de calor proveniente do fluido de arrefecimento do permutador (água).

No que diz respeito ao circuito de filtragem do motor, podemos constatar que é do tipo, circuito de lubrificação com filtro em série, equipado com um tradicional filtro do tipo absorvente, composto por fibras inorgânicas inertes, e resina como elemento ligante.

A opção de um único filtro para retenção de partículas, prende-se com o facto de não se revelar necessário a existência de mais área de filtragem face ao débito da bomba nos seus diversos regimes de funcionamento, e consequentemente evitar um incremento das perdas de carga no sistema. Como principal desvantagem temos o facto de as impurezas ao ficarem retidas todas num único filtro reduzirá a periodicidade de substituição do mesmo.

## 5.2 – Sistema de Lubrificação do Motor IVECO da Gama STRALIS

### 5.2.1 – Apresentação do motor

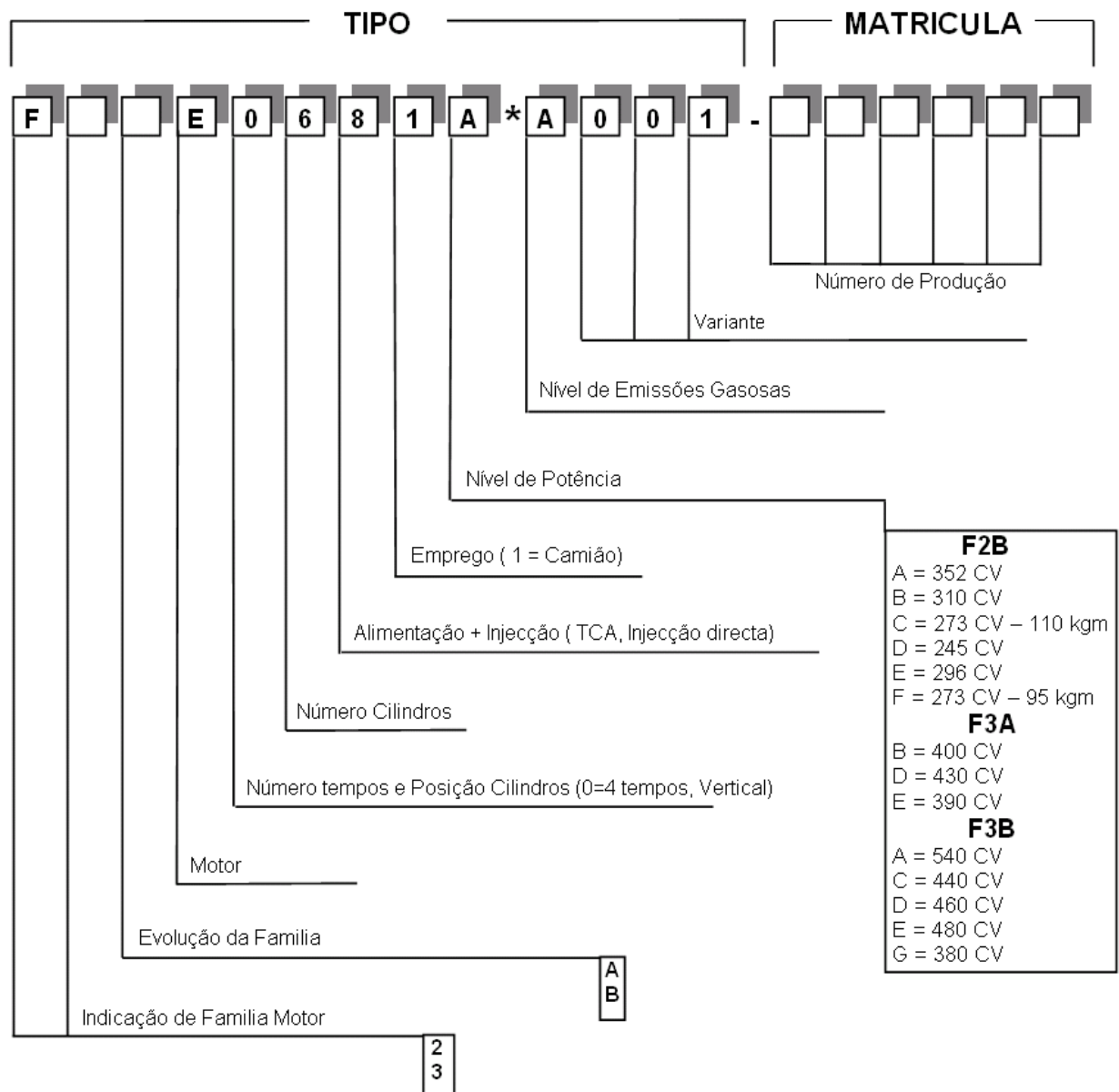
O presente motor, designado por CURSOR, é um motor que se destina a equipar os veículos da gama média-pesada e pesada da marca IVECO, nomeadamente a gama de veículos Euro tech, Euro Star, Euro Trakker, Euro Mover e Stralis.

Em função da gama de veículos a equipar, o motor poderá ser um CURSOR 8 - 10 - 13, podendo a mesma gama ser equipada por motores distintos.

#### Quadro 5.2 – Motores da gama Cursor

<i>Cursor 8</i> <b>7,8 Litri</b>	<i>Cursor 10</i> <b>10,3 Litri</b>	<i>Cursor 13</i> <b>12,9 Litri</b>
-------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------

A codificação de cada motor será efectuada de acordo com a nomenclatura adoptada pela marca, tendo esta em linha de conta, a família do motor e a sua evolução, bem como, ao nível do motor, o número de tempos de funcionamento, o número de cilindros, o tipo de alimentação e injeção, níveis de potência e o nível de emissões gasosas, conforme a ilustração seguinte.



**Fig. 5.13** – Codificação dos motores pesados da gama Stralis

No presente caso de estudo, iremos abordar o motor CURSOR 13, que equipa a gama STRALIS.

Trata-se de um motor de 6 Cilindros em Linha a 4 tempos, com uma cilindrada de 12.900 cm<sup>3</sup> e uma potência que poderá variar entre os 380 CV e os 540 CV, pelo que, de acordo com a codificação da marca, se enquadra nos motores da nova família 3 (F3), tomando, no que diz respeito à evolução da família, a referência B (F3B).

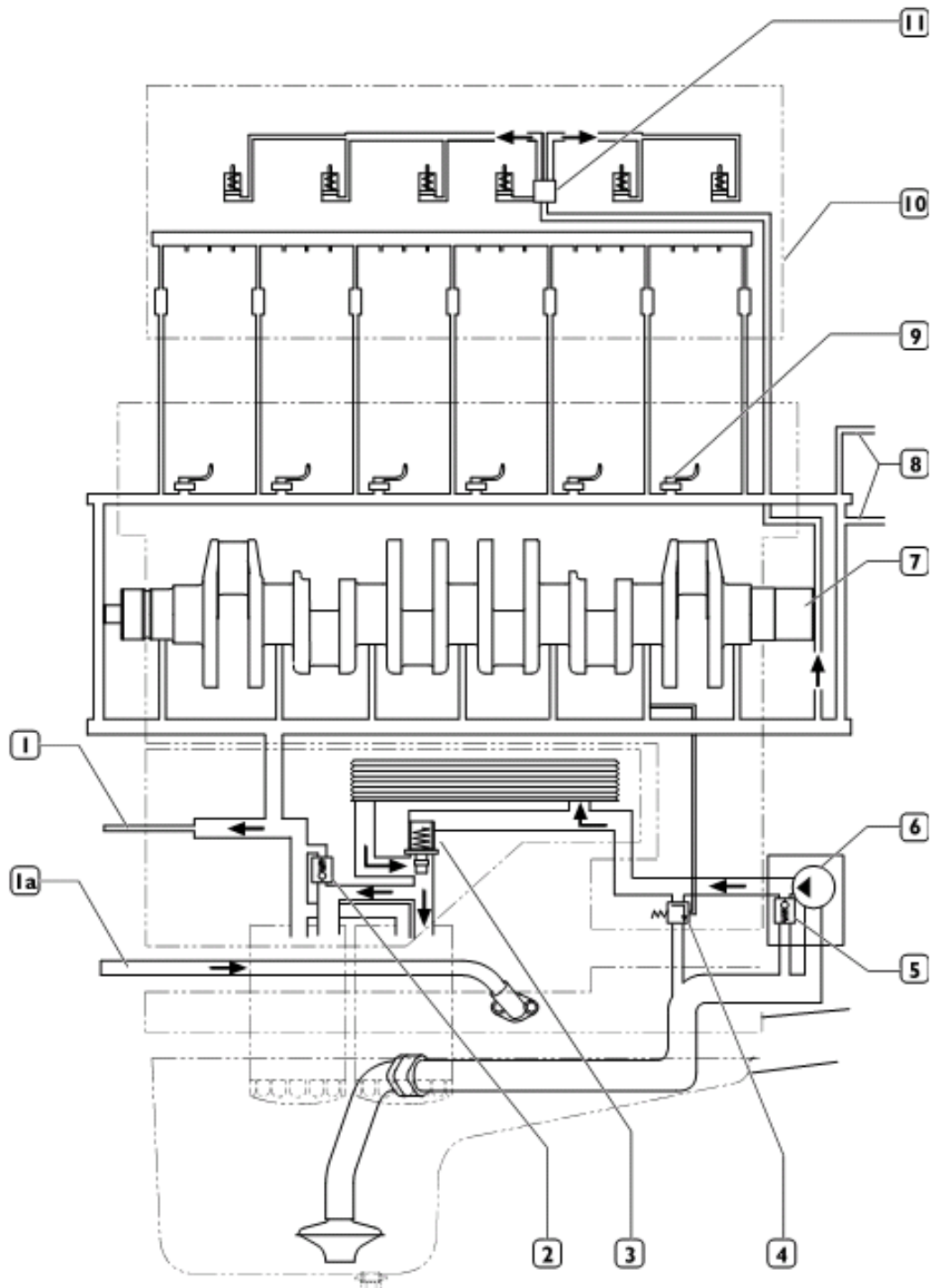
**Quadro 5.3** – Motores da gama Stralis

<b>Motores Gama STRALIS</b>	
<b>(F3A)</b> <div> <i>Cursor 10</i>  <b>10,3 Litri</b> </div>	<b>(F3B)</b> <div> <i>Cursor 13</i>  <b>12,9 Litri</b> </div>

Dado que o nosso estudo irá incidir exclusivamente no seu Sistema de Lubrificação, podemos de forma sucinta mencionar que o mesmo será do tipo forçado, sendo constituído pelos elementos principais a seguir mencionados:

- Bomba de óleo do tipo de carretos, equipada com válvula de segurança;
- Válvula reguladora de pressão no circuito de lubrificação;
- Grupo formado pelo permutador de calor e filtro de óleo equipado com:
  - Termóstato no permutador de calor;
  - Válvula de by-pass do filtro de óleo;
  - Interruptor de baixa pressão do óleo;
  - Transmissor de pressão de óleo;
  - Transmissor de temperatura de óleo.
  - Sinalizador de obstrução do filtro de óleo.

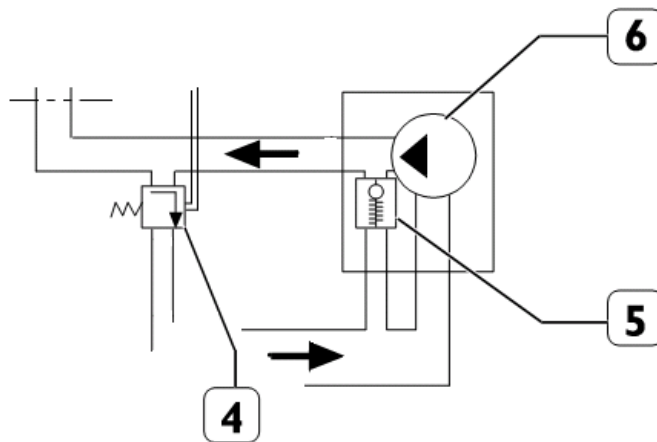
### 5.2.2 – Princípio de funcionamento do sistema de lubrificação do motor F3B



**Fig. 5.14** – Circuito de lubrificação do motor F3B (Iveco Stralis)

O fluxo de óleo lubrificante começa por ser aspirado pelo Grupo Bomba de Óleo, do interior do depósito de retenção ou cárter, por intermédio do chupador de óleo que se encontra mergulhado no fluido lubrificante, através de um tubo rígido interno de sucção.

O grupo Bomba de Óleo é formado por uma bomba de óleo do tipo de carretos [6], uma válvula de segurança [5], e uma válvula de regulação de pressão [4], no circuito de lubrificação.



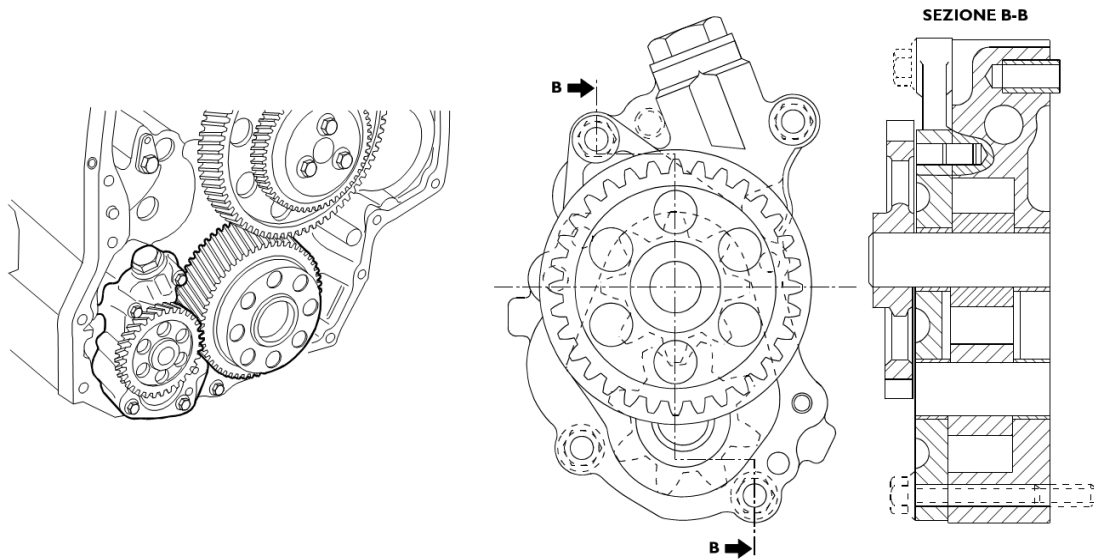
**Fig. 5.15** – Esquema hidráulico do grupo bomba de óleo e válvula de segurança

Este permitirá efectuar a sucção do óleo lubrificante do cárter, bem como promover o envio do mesmo aos restantes órgãos e circuitos do sistema, a um regime máximo de 5 bar, controlado pela válvula reguladora de pressão [4].

A válvula reguladora pressão [4] terá assim, por objectivo, promover o alívio da pressão no sistema, durante o arranque a frio, bem como regular a pressão do óleo durante todo o período de funcionamento do motor.

No que diz respeito ao seu funcionamento, podemos referir que a válvula reguladora de pressão [4] permanecerá fechada sempre que a pressão do óleo na conduta de alimentação seja inferior a 5 bar. Caso, no interior da conduta, a pressão do óleo seja igual ou superior a 5 bar, a válvula reguladora de pressão, por efeito da mesma, abre colocando em comunicação a conduta de envio com uma conduta de retorno, originando a conseqüente queda de pressão. A válvula reguladora de pressão retornará á sua posição inicial de válvula fechada, sempre que a pressão no interior da conduta se encontre abaixo dos 5 bar de pressão.

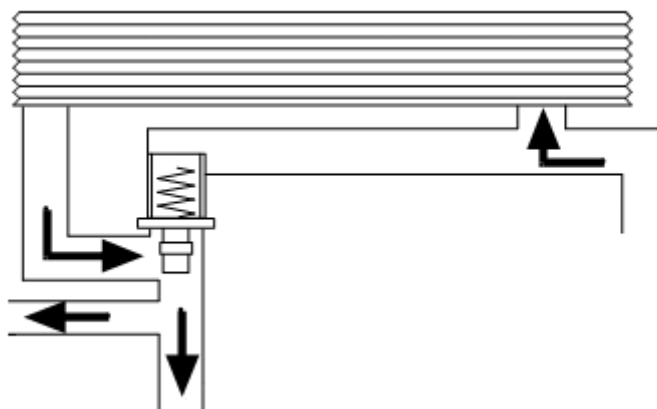
A bomba de óleo possui ainda uma válvula de segurança [5], que abre sempre que a pressão gerada pela bomba seja igual ou superior a 10 bar, funcionando assim como dispositivo de segurança.



**Fig. 5.16** – Ilustração do grupo bomba de óleo e válvula de segurança.

Do grupo bomba de óleo, o óleo é enviado sob pressão para o permutador de calor, onde por intermédio da água (fluido de arrefecimento do motor), que circula ao redor dos elementos de dissipação de calor do permutador, irá promover o arrefecimento do óleo, durante o processo de passagem pelo seu interior.

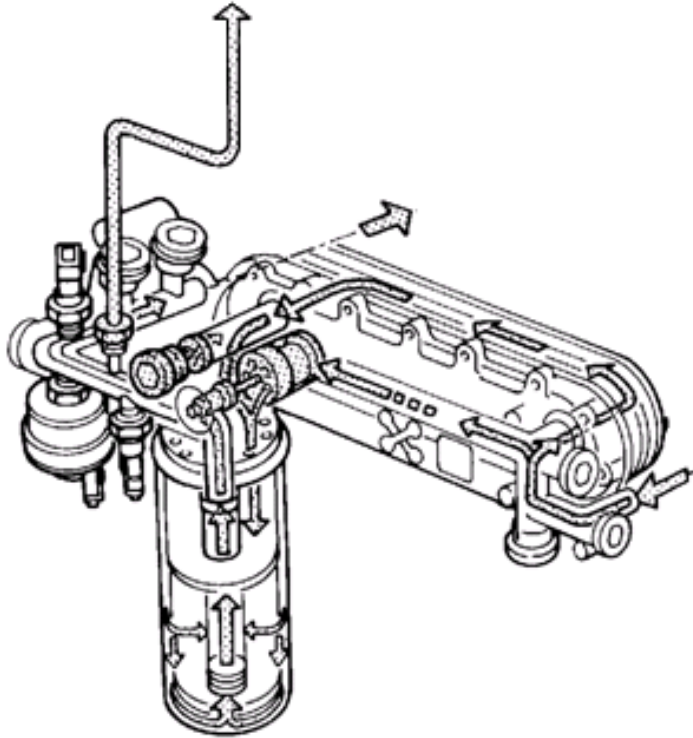
Associado ao permutador de calor, encontra-se instalado, em paralelo, um termóstato [3], que apenas funcionará em aberto sempre que a temperatura do óleo seja inferior a 79°C, por forma a evitar que este passe pelo interior do permutador, sempre que este não necessite de ser arrefecido. Tais circunstâncias observam-se especialmente durante o arranque do motor.



**Fig. 5.17** – Esquema hidráulico do permutador de calor

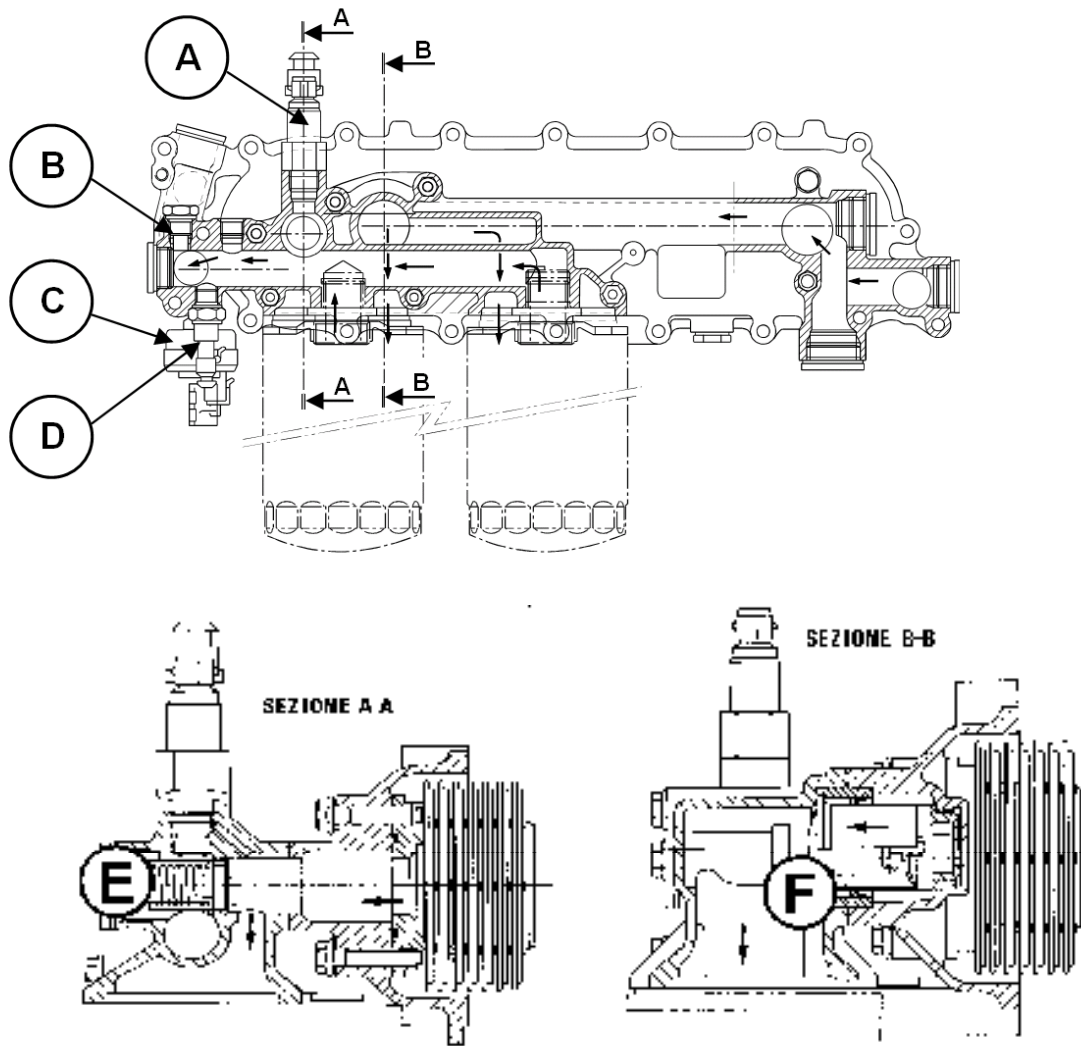
Do permutador de calor, o óleo é encaminhado para os dois filtros de óleo que compõem o sistema de filtragem.

Ambos os sistemas acoplados formam o grupo permutador de calor – filtro de óleo, que se encontra posicionado na zona lateral do motor.



**Fig. 5.18** – Grupo permutador de calor – filtro de óleo (motor CURSOR 8)

Como parte integrante do grupo permutador de calor - filtro de óleo, existe ainda um conjunto de acessórios, ilustrados na figura 5.19, responsáveis pela monitorização das condições de funcionamento, como é o caso do sinalizador de obstrução do filtro [A], o transmissor da temperatura do óleo [B], o transmissor de pressão de óleo [C], o interruptor de baixa pressão do óleo [D], bem como acessórios responsáveis por assegurar o bom funcionamento do grupo e, consequentemente, do sistema de lubrificação, tais como, a válvula de By-Pass dos filtros [E] e o termóstato [F] que se encontra instalado em paralelo com o permutador conforme anteriormente foi referido.

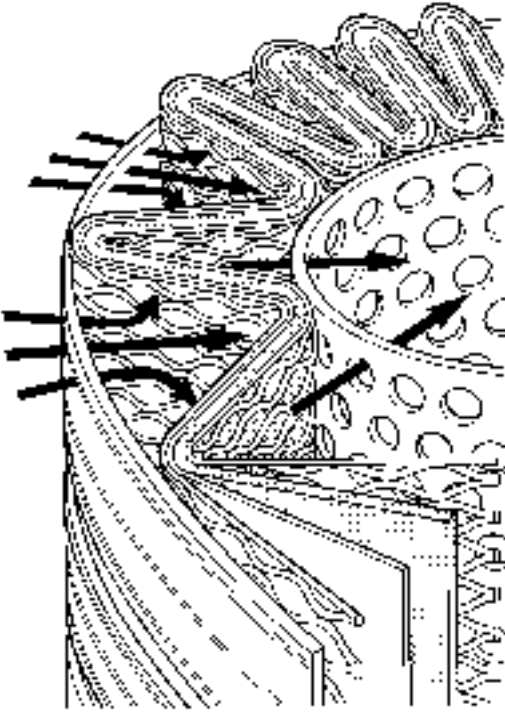


**Fig. 5.19** – Grupo permutador de calor – filtro de óleo

No que diz respeito à válvula de By-Pass [E], que equipa o grupo permutador e filtros de óleo do motor, há que referir que a mesma se encontram regulada para uma pressão de abertura a cerca de 2 bar, de forma a manter a pressão no sistema sempre constante, mesmo em caso de obstrução do filtro.

Desta forma, se a passagem do óleo através do filtro, criar uma pressão no circuito igual ou superior a 2 bar, a válvula de segurança abrir-se-á, permitindo assim que o óleo possa ser desviado dos filtros, por forma a que continue a circular no sistema.





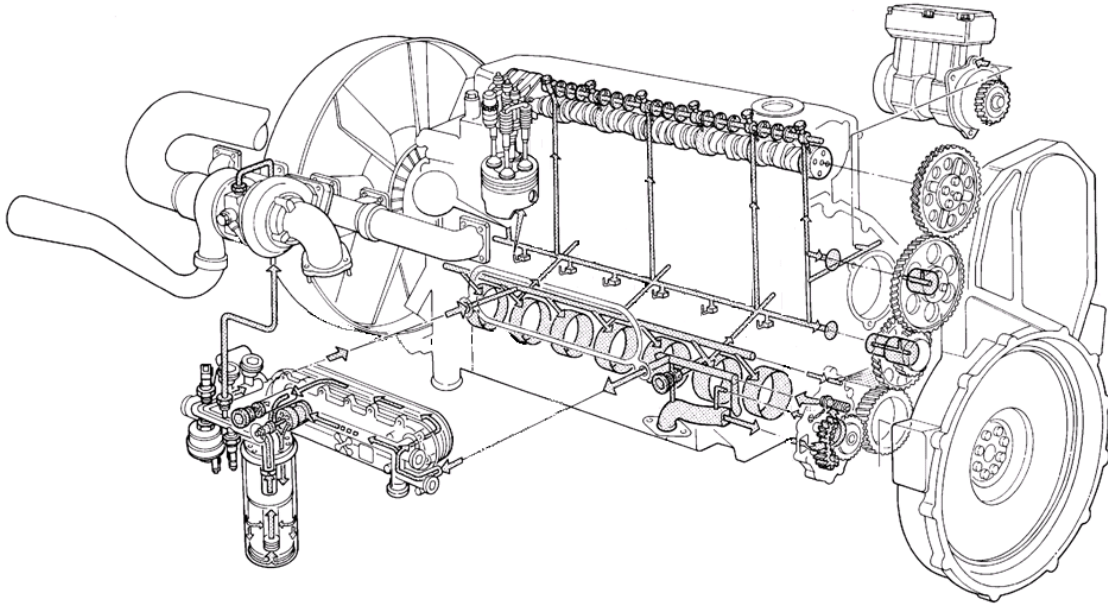
Os filtros de óleo que equipam o motor são filtros de última geração, e que proporcionam uma filtragem muito eficiente, dado permitirem a retenção de partículas de dimensões bastante mais reduzidas, comparativamente com o tradicional filtro com elemento filtrante em papel.

O elemento filtrante que o constitui é composto por fibras orgânicas inertes, ligadas entre si por intermédio de resina, sendo o mesmo envolvido de ambos os lados por uma forte rede em nylon, que lhe confere uma elevada resistência, particularmente adequada para suportar os arranques realizados a frio, bem como, para longos períodos de funcionamento.

**Fig. 5.20** – Filtro de óleo

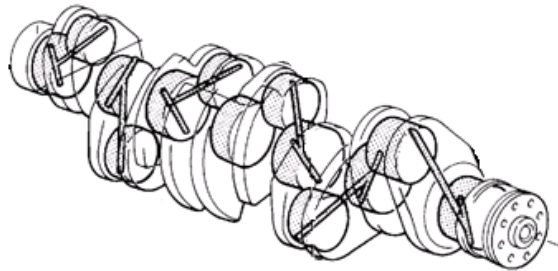
No que se refere à sua disposição, ambos se encontram dispostos em espiral, de forma a garantir uma uniforme distribuição do fluxo de óleo através de todo o comprimento do elemento filtrante, com a consequente optimização da perda de carga.

Após arrefecido e filtrado o fluxo de óleo lubrificante é dividido, sendo que uma parte é encaminhada para o turbo compressor e a restante flui através de uma passagem transversal até à Galeria Principal, que vai de ponta a ponta do motor no seu sentido longitudinal, na qual através de diversas passagens transversais individuais, e por intermédio de canais maquinados no bloco do motor, será efectuada a alimentação de óleo lubrificante aos diversos órgãos do motor, bem como, ao compressor de ar de alimentação do sistema de travagem, posicionado na zona externa do motor.



**Fig. 5.21** – Ilustração da alimentação do óleo ao motor, turbo compressor e compressor de ar

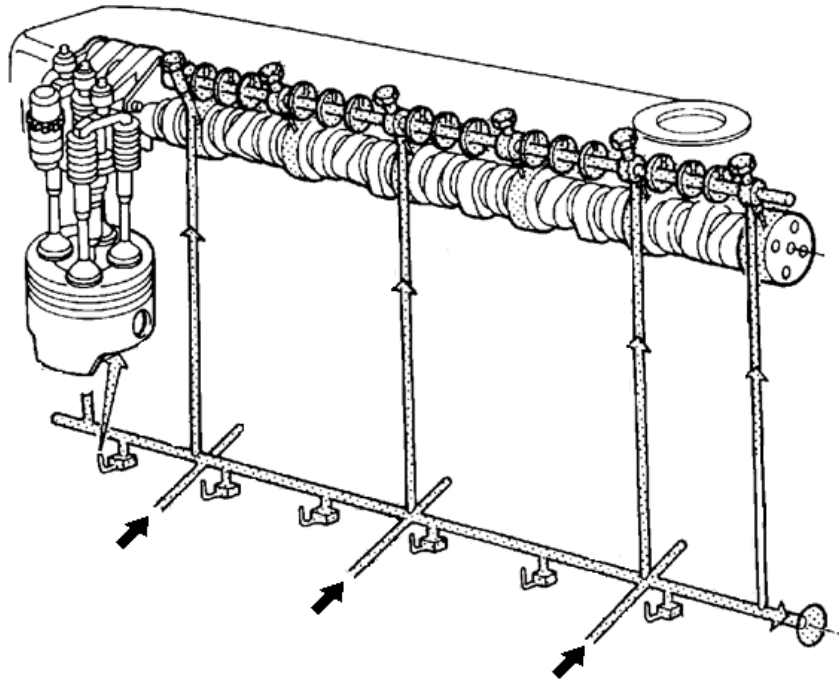
Uma vez chegado à galeria principal, parte do fluxo de óleo lubrificante será encaminhado por intermédio das referidas passagens internas maquinadas no bloco do motor às Chumaceiras e Moentes da Cambota onde, por efeito da pressão gerada no circuito, será forçado a penetrar nos diversos canais internos e maquinados da própria Cambota, de forma a lubrificar as Chumaceiras e moentes das Bielas.



**Fig. 5.22** – Ilustração da lubrificação dos moentes e chumaceiras da cambota e bielas

De igual modo, parte do fluxo do óleo lubrificante sob pressão, proveniente da Galeria Principal, será enviado por intermédio das referidas passagens maquinadas no bloco do motor, aos injectores de óleo situados no bloco de cilindros, onde sob pressão é enviado à galeria interna do pistão, para refrigeração da zona da câmara de combustão e segmentos. Após o arrefecimento do pistão, por acção de gravidade efectuará a lubrificação do cavilhão do pistão e casquilho de biela.

A restante parte do fluxo proveniente da galeria principal será encaminhada à cabeça de cilindros, de forma a efectuada a lubrificação dos casquilhos e moentes da árvore de cames, assim como, por efeito da pressão todos os restantes órgãos associados ao mecanismo de abertura e fecho de válvulas.



**Fig. 5.23** – Ilustração da lubrificação dos cilindros e da árvore de cames

Associado à Árvore de Cames do motor, que controla a abertura e fecho de válvulas, existe ainda um dispositivo denominado por Travão Motor, Fig. 5.24, que permitirá compensar o sistema de travagem por recurso ao motor do veículo.

A actuação do dispositivo de Travão motor será efectuada por recurso a um sistema hidráulico, que permitirá manipular mecanicamente a abertura e fecho das válvulas de escape, por forma a que, jogando com a taxa de compressão do motor, possa variar a velocidade de rotação do mesmo.

O sistema hidráulico utilizado irá assim aproveitar a pressão do circuito de lubrificação para efectuar a alimentação aos actuadores do sistema hidráulico de travagem, sempre que o mesmo seja solicitado pelo sistema.

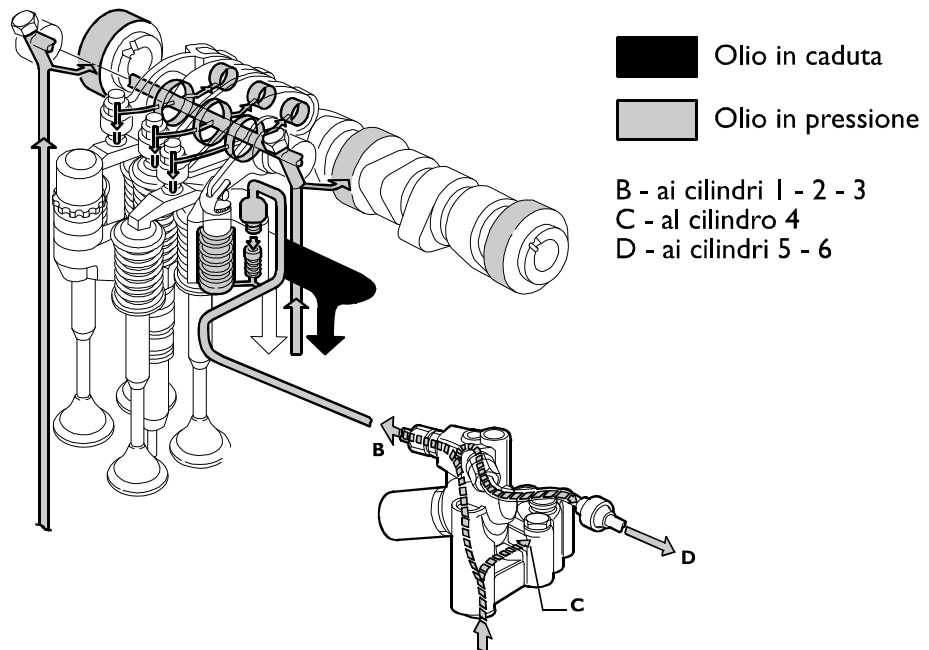


Fig. 5.24 – Dispositivo de travão motor

Relativamente aos vapores de óleo libertados durante o processo de combustão, há que referir que, na cobertura da distribuição se encontra alojado um pré separador, cujo formato e disposição determina um aumento da velocidade de saída dos vapores do óleo e ao mesmo tempo condensa uma parte deles.

O óleo condensado retorna ao carter do motor por gravidade, enquanto que os vapores residuais são conduzidos, recolhidos e filtrados no blow-by.

No blow-by, parte dos vapores condensam-se e retornam ao carter do motor, enquanto que a parte restante é recirculada no circuito de admissão.

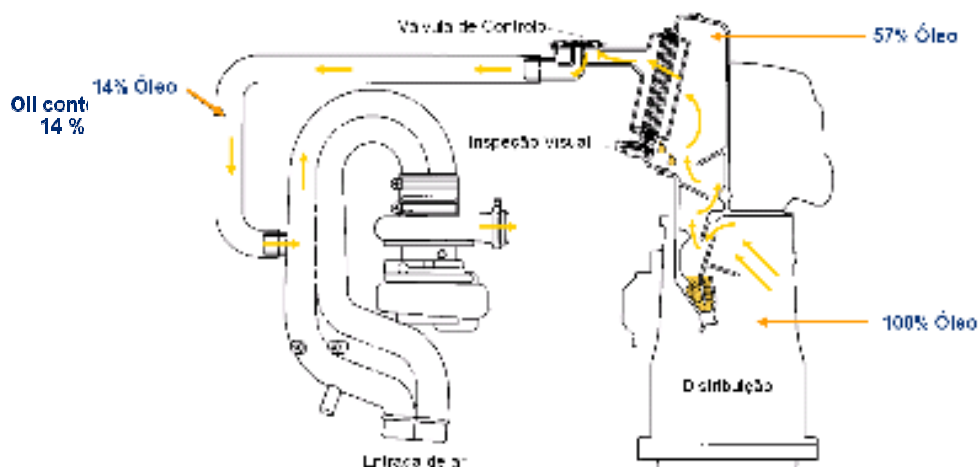


Fig. 5.25 – Esquema de funcionamento do dispositivo de recolha de vapores de óleo

### 5.2.3 – Enquadramento nos sistemas teóricos de lubrificação

O sistema de lubrificação do motor designado por CURSOR, que se destina a equipar os veículos da gama média-pesada e pesada da marca IVECO, enquadra-se claramente nos tradicionais sistemas de lubrificação do tipo forçado, dado que, o óleo lubrificante é forçado a chegar sob pressão a todas as partes rotativas do motor, como é o caso dos moentes e chumaceiras da cambota, moentes e chumaceiras das cabeças das bielas, bem como, aos moentes e casquilhos do veio de excêntricos (árvore de cames).

A adopção de tal sistema de lubrificação neste motor deve-se essencialmente ao facto de estarmos perante um motor de grandes dimensões, e que pelo facto de se destinar a equipar veículos de longo curso, é forçado a trabalhar durante longos períodos em regimes variáveis, pelo que se torna extremamente necessário de garantir uma eficiente e continua lubrificação de todas as partes móveis rotativas do circuito, nos seus diversos regimes de funcionamento.

No que se refere à forma como é armazenado o óleo no interior do motor, quando em repouso e em serviço, podemos constatar que se trata de um motor cujo carter é utilizado como reservatório e simultaneamente como tanque de serviço, pelo que se classifica como um sistemas de cárter húmido. Este carter em específico não apresenta o tradicional sistema de fixação por ligação aparafusada directa ao bloco, dado que as suas abas permanecem fechadas no interior de uma espessa junta de borracha em “C”, sendo todo o conjunto suportado por um elemento em alumínio, aparafusado ao bloco.

Esta solução permite melhorar a sua retenção, apesar de necessitar de um número inferior de parafusos de fixação, comparativamente com os tradicionais sistema. Outra vantagem é que não é necessário substituir a junta em cada desmontagem.

A necessária pressão do óleo a fornecer ao longo de todo o circuito é garantida por recurso a uma bomba de óleo do tipo de carretos. Tal opção permite fornecer um adequado caudal de óleo face às exigências de pressão no circuito a diferentes regimes, dado se tratar de uma bomba que comparativamente com as bombas de embolo, bombas de rotor excêntrico, ou bombas de palhetas, apresenta um reduzido desgaste ao fim de longas horas de serviço, o que se traduz numa quase e inexistente perda de carga no circuito.

Inserido no seu circuito de lubrificação encontra-se um permutador de calor, que se justifica pelo simples facto de se tratar de um motor sobrealimentado. A sua utilização tem assim em vista à dissipação da elevada quantidade de calor gerada no seu interior. No que se refere à

sua classificação, podemos constatar que se trata de um permutador exterior montado em derivação ou paralelo, alimentado através de um termóstato que evita que o óleo o atravesse quando a baixas temperaturas, sendo apenas atravessado pelo óleo quando este atinge cerca de 79°C, evitando perdas de carga elevadas devido à viscosidade do lubrificante.

No que diz respeito ao circuito de filtragem do motor, podemos constatar que é do tipo, circuito de lubrificação com filtro em série, sendo este equipado com um set de dois filtros de filtragem dupla, onde cada filtro é composto por um elemento filtrante do tipo absorvente e por uma malha metálica. A grande vantagem deste tipo de filtragem dupla, além na natural retenção de uma vasta gama de granulometria de partículas, prende-se essencialmente com a resistência oferecida pelo filtro às grandes pressões a que está sujeito quando a frio, ou em caso de obstrução, evitando assim que se deforme ou rasgue com facilidade.

### **5.3 – Sistema de Lubrificação do Motor CAT 3408E**

#### **5.3.1 – Apresentação do motor**

O presente motor designado por CAT 3408E, é um motor Diesel de ultima geração, que se insere no grupo dos motores CAT designados por motores electronicamente controlados, dado integrarem um módulo electrónico de controlo ECM (Electronic Control Module), o que proporciona um total controlo electrónico das performances do motor.

O módulo de controlo electrónico ECM permite aumentar de forma substancial a potência e a flexibilidade do controlo do motor diesel. O ECM utiliza múltiplos sensores de forma a monitorizar de forma permanente a resposta do motor e automaticamente efectuar ajustes de forma a optimizar a sua performance. Ao contrário dos motores mecanicamente controlados, o ECM elimina de forma virtual as variações de velocidade do motor e automaticamente controla a admissão de combustível para arranques a frio, acelerações rápidas, bem como as emissões de fumo. O resultado consiste numa melhoria significativa da resposta do motor e num aumento do nível de potência, economia e fiabilidade, quando comparado com os tradicionais motores mecanicamente controlados.

Trata-se de um motor de 8 Cilindros em V a 4 Tempos, de 18 Litros de Cilindrada, o qual poderá equipar uma vasta gama de equipamentos, tais como, veículos pesados móveis, ou equipamentos pesados estáticos. A sua gama de potências poderá variar entre os 475 e os 750 hp de Potência, consoante o regime de funcionamento pretendido, A e B (regime continuo), C, D, e E (regime intermitente), bem como, em função do tipo de admissão

considerado; DITA (Direct Injection Turbocharged Aftercooled) ou ATAAC (Air to Air Aftercooled), conforme se pode visualizar no Quadro 5.3 referente às especificações do referido motor.

No presente caso de estudo, iremos abordar o motor CAT 3408E com admissão do tipo DITA - Direct Injection Turbocharged Aftercooled, adequado a um regime de funcionamento do tipo “C”, que se destina a equipamentos que funcionam em condições de potência e velocidade cíclicas e cujo período de funcionamento à máxima carga não exceda 50% do ciclo total de trabalho.

**Quadro 5.4 – Especificações do motor 3408E**

3408E				Dimensões Aproximadas:		
Diam. x Curso	5.4 x 6.0 in	137 x 152.5 mm		Comprimento	54 in	1383 mm
Cilindrada	1099 cu in	18 liters		Largura	44 in	1108 mm
Peso	4580 lbs	2079 kg		Altura	54 in	1363 mm

	A Rating (Continuous)			B Rating			C Rating (Intermittent)			D Rating			E Rating		
	bhp	kW	rpm	bhp	kW	rpm	bhp	kW	rpm	bhp	kW	rpm	bhp	kW	rpm
DITA	—	—	—	—	—	—	575	429	2100	625	466	2100	675	503	2100
	475	354	1800	525	392	2000	500	373	1800	—	—	—	—	—	—
ATAAC	—	—	—	—	—	—	625	466	2100	700	522	2100	750	660	2100

Trata-se pois de um motor com 575 hp de potência às 2100 rpm e que se destina a equipar tractores para fora de estrada ou tractores agrícolas.

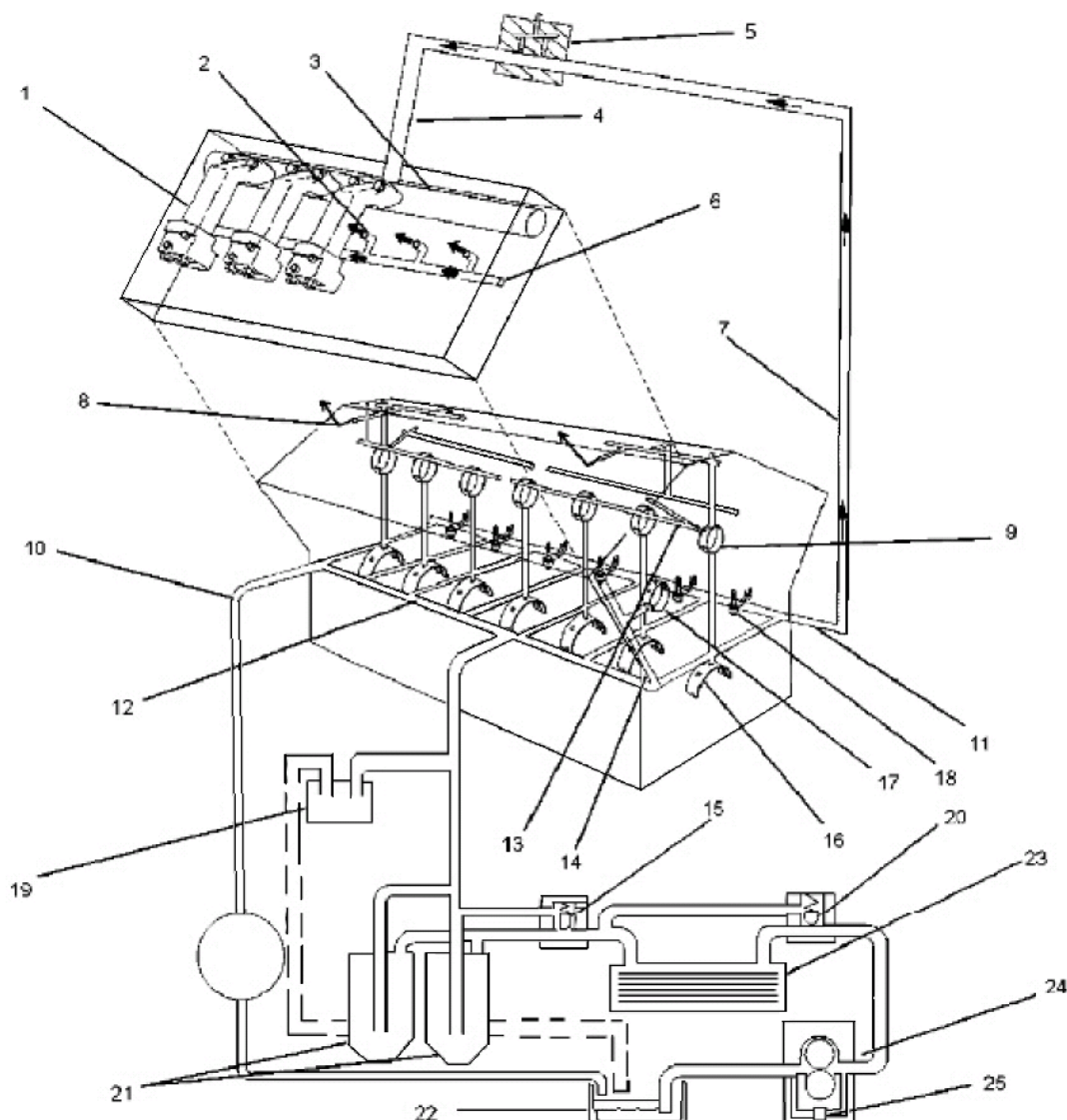
Dado que o nosso estudo irá incidir exclusivamente no Sistema de Lubrificação do referido motor, podemos de forma sucinta mencionar que o mesmo será do tipo forçado, sendo constituído por um circuito de óleo combinado, composto por uma secção de baixa pressão e por uma secção de alta pressão.

O circuito de baixa pressão trabalha tipicamente a uma pressão que varia entre os 2,4 e os 4,8 bar, tendo como principal objectivo providenciar óleo para o sistema de lubrificação do motor e óleo de motor filtrado para a bomba HEUI (Hidraulic Electronic Unit Injection). O óleo é sugado do cárter e enviado através do permutador de calor e do filtro de óleo quer para o motor quer para a bomba HEUI.

O circuito de alta pressão, por sua vez, operará a uma pressão que varia entre os 50 e os 230 bar, tendo como objectivo único providenciar óleo para a actuação da unidade de injectores.



### 5.3.2 – Princípio de funcionamento do sistema de lubrificação do motor CAT 3408E



**Fig. 5.26** – Circuito de lubrificação do motor CAT 3408E

O fluxo de óleo lubrificante começa por ser aspirado pela Bomba de Óleo [24], a partir do interior do depósito de retenção ou cárter [22], através do chupador de óleo que se encontra mergulhado no fluido lubrificante e passando por um tubo rígido interno de sucção.

O grupo Bomba de Óleo é formado por uma bomba de óleo do tipo de carretos [24] e por uma válvula de regulação de pressão ou de By-Pass [25]. Este grupo permite efectuar a sucção do óleo lubrificante do cárter [22] e promover o envio do mesmo aos restantes órgãos e circuitos



do sistema, a um regime máximo de 4,8 bar, controlado pela válvula reguladora de pressão ou de By-Pass [25].

A válvula reguladora de pressão [25] tem assim por objectivo promover o alívio da pressão no sistema, durante o arranque a frio, bem como regular a pressão do óleo durante todo o período de funcionamento do motor, dado que a bomba tem a capacidade de colocar mais óleo no sistema do que necessita.

No que diz respeito ao seu funcionamento, podemos referir que a válvula reguladora de pressão [25] permanecerá fechada sempre que a pressão do óleo na conduta de alimentação a jusante da bomba seja inferior a 4,8 bar. Caso, no interior da conduta, a pressão do óleo seja igual ou superior a 4,8 bar, a válvula reguladora de pressão abre, efectuando o envio do óleo em excesso para a zona de sucção e originando a consequente queda de pressão. A válvula reguladora de pressão retornará à sua posição inicial de válvula fechada sempre que a pressão no interior da conduta se encontre abaixo dos 4,8 bar de pressão.

Do grupo bomba de óleo, o óleo é enviado sob pressão para o permutador de calor [23], onde, por intermédio da água (fluido de arrefecimento do motor), que circula ao redor dos elementos de dissipação de calor do permutador, irá promover o arrefecimento do óleo durante o processo de passagem pelo seu interior.

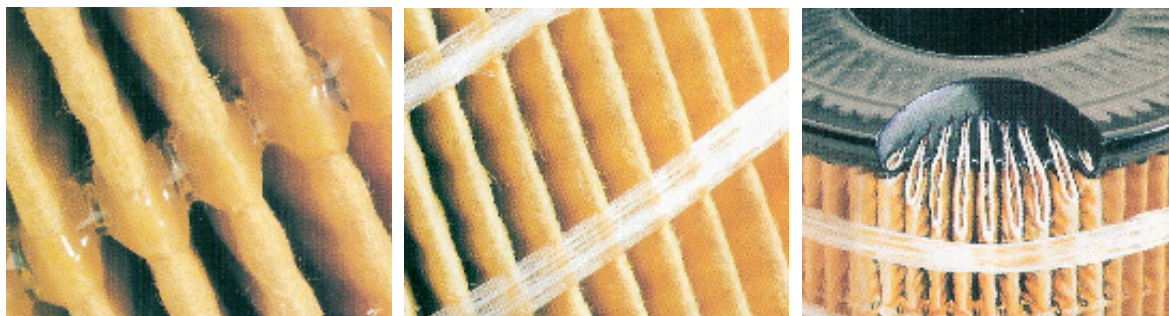
Associado ao permutador de calor, encontra-se instalada em paralelo uma válvula de By-Pass [20], que apenas funcionará em aberto quando a temperatura do óleo for inferior a 78 °C, por forma a evitar que este passe pelo interior do permutador, quando não necessita de ser arrefecido, por forma a garantir a imediata lubrificação de todos os componentes. Note-se que a baixas temperaturas o óleo apresenta uma viscosidade superior à de funcionamento normal. Tais circunstâncias observam-se especialmente durante o arranque do motor.

Do permutador de calor [23], o óleo é encaminhado para o sistema de filtragem, que é composto por dois filtros de óleo [21] e uma válvula de By-Pass [15].

Os filtros que equipam o sistema de filtragem, são filtros de ultima geração, e que proporcionam uma filtragem bastante eficiente, quando comparados com os tradicionais filtros com elemento filtrante em papel.

Estes são compostos por um elemento filtrante em fibras orgânicas dispostas em espiral e espaçadas por separadores em acrílico entre as dobras do elemento filtrante, envoltas em

cintas de fibra de vidro em espiral ao longo do corpo do elemento filtrante. No seu interior, o filtro é composto por um tubo central não metálico, sendo que as tampas das suas extremidades são moldadas.



**Fig. 5.27** – Pormenores dos filtros de óleo CAT

No que diz respeito à válvula de By-Pass [15], que equipa o sistema de filtragem juntamente com filtros de óleo do motor, há que referir que a mesma se encontra regulada para uma pressão de abertura a cerca de 2 bar, de forma a manter a pressão no sistema sempre constante, mesmo em caso de obstrução do filtro.

Desta forma, se a passagem do óleo através do filtro criar uma pressão no circuito igual ou superior a 2 bar, a válvula de segurança abrir-se-á, permitindo assim que o óleo possa ser desviado dos filtros e continue a circular no sistema.

Após arrefecido e filtrado, o fluxo de óleo lubrificante será encaminhado directamente para a galeria principal [12] onde, através de diversas passagens transversais e por intermédio de canais maquinados no bloco do motor, será efectuada a distribuição do óleo lubrificante aos diversos órgãos do motor.

Contudo, caso o motor se encontre equipado com um filtro auxiliar [19], cerca de 5% do fluxo de óleo lubrificante será extraído da conduta de acesso à galeria principal para que possa ser novamente filtrado e encaminhado directamente para o cárter.

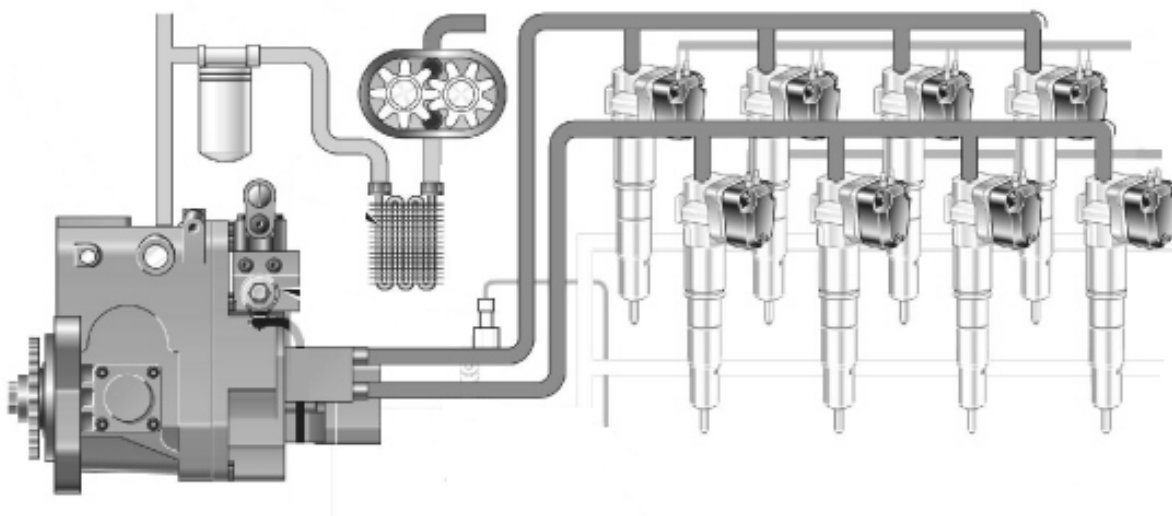
Uma vez chegado à galeria principal, parte do fluxo de óleo lubrificante será encaminhado por intermédio das referidas passagens internas maquinadas no bloco do motor às Chumaceiras e Moentes da Cambota [16] onde, por efeito da pressão gerada no circuito, será forçado a penetrar nos diversos canais internos e maquinados da própria Cambota, de forma a lubrificar as Chumaceiras e Casquilhos das Bielas.

De igual modo, parte do fluxo do óleo lubrificante sob pressão, proveniente da Galeria Principal, será enviado por intermédio das referidas passagens maquinadas no bloco do motor, aos lubrificadores dos cilindros [18], situados no interior da câmara de combustão, por forma a efectuar a lubrificação do Cavilhão do Pistão e a refrigeração dos pistões, bem como às Chumaceiras e Moentes da Árvore de Cames [9] onde, por efeito da pressão no circuito, será forçado a penetrar nos diversos canais maquinados no bloco do motor [13], de forma a lubrificar as hastes de comando dos Martelos das válvulas.

O fluxo de óleo proveniente da galeria principal [12], alimentará ainda o circuito de lubrificação do turbo-compressor [10], as chumaceiras da zona da distribuição dianteira [17], através da extensão da galeria de óleo [14] localizada no canto frontal direito do bloco do motor, bem como a zona da distribuição traseira.

Após o fluxo de óleo atravessar a galeria principal [12], parte do fluxo de óleo é encaminhado até à galeria frontal, situada na lateral esquerda do motor, onde através de uma tubagem em aço [11], que vai de ponta a ponta do motor, o óleo lubrificante proveniente do motor será encaminhado para a bomba HEUI [5], denominada por bomba injectora hidráulica.

A bomba HEUI é uma bomba de pistão axial accionada mecanicamente pelo trem de engrenagens frontal do motor, que tem como objectivo poder elevar o nível da pressão de óleo proveniente do motor (circuito de baixa pressão), de forma a criar um circuito de alta pressão que operará entre 50 – 230 bar, para actuação da unidade de injectores.



**Fig. 5.28** – Sistema de actuação hidráulica da injeção

Uma vez saído da bomba hidráulica de alta pressão, o óleo será encaminhado para uma galeria de elevada pressão [3], que será responsável por alimentar, a igual pressão, cada um dos injectores da unidade, instalados no topo da cabeça de cada cilindro.

Simultaneamente à alimentação de óleo aos injectores, para actuação dos mesmos, é efectuado em paralelo a alimentação de combustível a cada injector, cujo débito será electronicamente controlado, pelo módulo electrónico de controlo (ECM).

O recurso a um sistema hidráulico de injeção prende-se com o facto de não se tornar possível com o tradicional sistema de accionamento mecânico da unidade de injectores criar a pressão necessária para alimentar dos injectores bomba de alta pressão.

A grande vantagem que adovem deste sistema, para além dos ganhos conseguidos a nível de eficiência na queima, pela introdução do combustível por recurso a um injector de alta pressão, prende-se com o facto de que, ao se anular todos os equipamentos mecânicos inerentes ao tradicional processo de accionamento dos injectores, permitir-se-á reduzir as folgas e o desgaste entre os diversos componentes do tradicional sistema de injeção, assim como a própria inércia do motor.

No que diz respeito ao circuito de retorno de óleo, e em oposição ao que se evidencia no circuito de alimentação, este será do tipo circulação por gravidade, dado que todo o óleo utilizado, quer no circuito de baixa pressão, responsável pela lubrificação do motor e turbo-compressor, quer no circuito de elevada pressão, responsável pela alimentação da bomba hidráulica dos injectores, será realizada apenas por recurso à acção da gravidade, ao longo de uma vasta rede de canais maquinados e tubagens, de forma a efectuar a recolha e envio do mesmo desde os diversos pontos de lubrificação até ao cárter para novo ciclo de recirculação.

Relativamente aos vapores de óleo libertados durante o processo de combustão no interior dos cilindros, há que referir que estes serão libertados para a atmosfera através de respiradores localizados na zona de alojamento da cambota, de forma a prevenir que os mesmos gerem elevadas pressões no interior do motor, e que estas possam gerar fugas quer nos vedantes quer nos empanques do motor.

### **5.3.3 – Enquadramento nos sistemas teóricos de lubrificação**

O sistema de lubrificação do motor que se destina a equipar os veículos pesados da marca CATERPILAR, nomeadamente a gama de veículos 3400, enquadra-se nos tradicionais

sistemas de lubrificação do tipo forçado, dado que, o óleo lubrificante é forçado a chegar sob pressão a todas as partes rotativas do motor, como é o caso dos moentes e chumaceiras da cambota, moentes e chumaceiras das cabeças das bielas, bem como, aos moentes e casquilhos do veio da árvore de cames.

A adopção de tal sistema de lubrificação neste motor deve-se essencialmente ao facto de estarmos perante um motor de grandes dimensões, aplicado tradicionalmente em veículos pesados móveis, forçados a trabalhar durante longos períodos em regimes variáveis, pelo que se torna extremamente necessário de garantir uma eficiente e continua lubrificação de todas as partes móveis rotativas do circuito, nos seus diversos regimes de funcionamento.

No que diz respeito à forma como é armazenado o óleo no seu interior, quando em repouso e em serviço, podemos constatar que se trata de um motor cujo carter é utilizado como reservatório e simultaneamente como tanque de serviço, pelo que se classifica como um tradicional sistemas de cárter húmido.

A necessária pressão a fornecer ao óleo ao longo de todo o circuito, é garantida por recurso a uma bomba de óleo do tipo de carretos. Tal opção permite garantir um adequado débito de óleo face às exigências de pressão no circuito a diferentes regimes, e simultaneamente, compensar uma possível interposição de um adicional sistema de filtragem em paralelo, bem como a alimentação de um circuito de elevada pressão.

Comparativamente com as bombas de êmbolo, de rotor excêntrico, ou de palhetas, esta apresenta um reduzido desgaste ao fim de longas horas de serviço, o que se traduz numa quase e inexistente perda de carga no circuito.

Inserido no seu circuito de lubrificação encontra-se ainda um permutador de calor, que se justifica pelo simples facto de se tratar de um motor sobrealimentado. A sua utilização tem assim em vista a dissipação da elevada quantidade de calor gerada no seu interior. No que se refere à sua classificação, podemos constatar que se trata de um permutador exterior montado em derivação ou paralelo, alimentado através de um termóstato que evita que o óleo o atravessasse quando a baixas temperaturas, sendo apenas atravessado pelo óleo quando este atinge cerca de 78°C, evitando perdas de carga elevadas devido à viscosidade do lubrificante.

No que diz respeito ao circuito de filtragem deste motor, podemos constatar que tradicionalmente é do tipo circuito de lubrificação com filtro em série, equipado com um Set de dois filtros do tipo absorvente, podendo contudo, ser equipado com um adicional sistema de

filtragem em paralelo, composto por um único filtro igualmente do tipo absorvente, que filtrará apenas cerca de 5% do fluxo de óleo lubrificante que acede à galeria principal.

A utilização do opcional sistema de filtragem em paralelo, prende-se com a necessidade de garantir uma filtragem mais exigente ao circuito de lubrificação, dado que este motor tradicionalmente é aplicado em equipamentos que operam em meios muito agressivos, meios esses, que tendem a acelerar o natural processos de desgaste dos componentes mecânicos, pela interposição entre as superfícies interactuantes de elementos abrasivos.

## 5.4 – Sistema de Lubrificação do Motor CAT 3512

### 5.4.1 – Apresentação do motor

O presente motor, designado por CAT 3512, é um motor Diesel que se insere no grupo dos motores CAT designados como Electrogéneos, dado se tratarem de motores diesel que se destinam a alimentar unidades geradoras de energia.

Trata-se de um motor de 12 Cilindros em V a 4 Tempos, de 51,8 Litros de Cilindrada, que poderá ser utilizado numa vasta gama de aplicações para geração de energia. A sua gama de potências poderá variar em função da velocidade de saída, podendo esta ser de 1.500 rpm (50 Hz) ou a 1.800 rpm (60 Hz), do comando de injeção ser mecânico ou totalmente electrónico, sendo este ultimo identificado no código de classificação de modelo com a inclusão da letra B, bem como, consoante esteja a funcionar em regime de emergência, carga variável ou carga constante, conforme ilustrado no Quadro 5.4.

O tipo de admissão será sempre do tipo TA – Turbo Charged Aftercooled.

**Quadro 5.5** – Classificação dos grupos electrogéneos Diesel de 50 e 60 HZ

50Hz - 1.500 rpm				60Hz - 1.800 rpm			
Modelo do Grupo	Emergência KVA	Prime KVA	Continuo KVA	Modelo do Grupo	Emergência KVA	Prime KVA	Continuo KVA
3512 TA	1250	1150	1000	3512 TA	1100	1000	890
3512 TA	1400	1275	1206	3512 TA	1250	1135	1010
3512 B TA	1500	1360	1320	3512 B TA	1400	1275	1230
3512 B TA	1600	1500	-	3512 B TA	1500	1360	1230

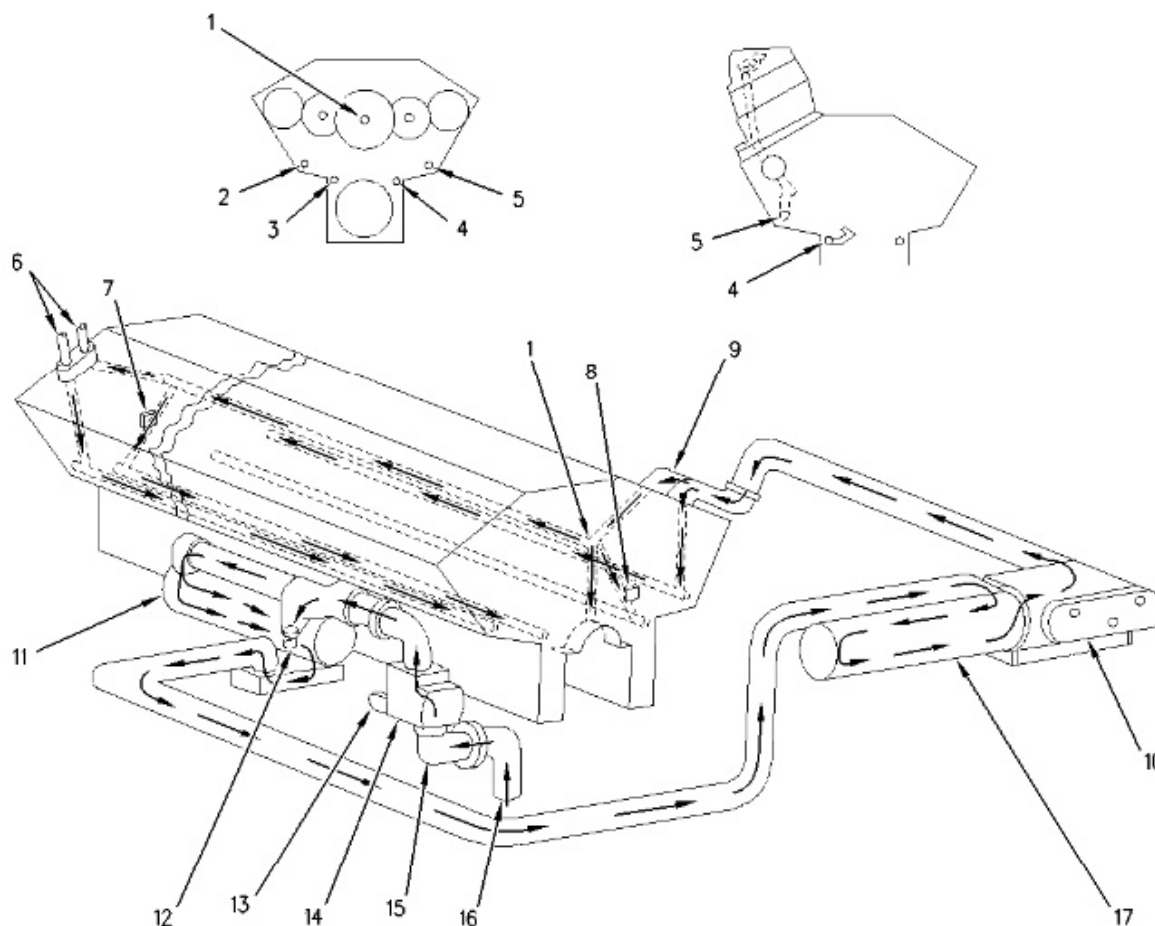
No presente caso de estudo, iremos abordar o motor CAT 3512 TA com uma velocidade de saída de 1.500 rpm (50 Hz), como comando de injeção mecânico, e admissão do tipo TA – Turbo Charged Aftercooled.

Trata-se, pois, de um motor que debita uma potência de 1.400 KVA, 1.275 KVA ou 1.206 KVA, quando respectivamente em regime de emergência, carga variável ou carga constante.

Dado que o nosso estudo irá incidir exclusivamente no seu Sistema de Lubrificação, podemos de forma sucinta mencionar que o mesmo será do tipo forçado, sendo constituído pelos elementos principais a seguir mencionado:

- Bomba de óleo de engrenagens;
- Válvula reguladora de pressão incorporada na bomba de óleo;
- Permutador de calor para dissipação do calor;
- Filtro de óleo com válvula e segurança incorporada.

### 5.4.2 – Princípio de funcionamento do sistema de lubrificação do motor CAT 3512 TA



**Fig. 5.29** – Circuito de lubrificação do motor CAT 3512 TA

O fluxo de óleo lubrificante começa por ser aspirado pela Bomba de Óleo [14], do interior do depósito de retenção ou cárter, por intermédio do chupador de óleo que se encontra mergulhado no fluido lubrificante, através de um tubo rígido interno de sucção [16].

O Grupo Bomba de Óleo é formado por uma bomba de óleo de carretos [14], equipada com 3 carretos e por uma válvula de regulação de pressão [13].

Este grupo permite efectuar a sucção do óleo lubrificante do cárter e promover o envio do mesmo aos restantes órgãos e circuitos do sistema, a um regime máximo de 6 bar, controlado pela válvula reguladora de pressão [13].



A válvula reguladora pressão [13] tem por objectivo promover o alívio da pressão no sistema, durante o arranque a frio, bem como regular a pressão do óleo durante todo o período de funcionamento do motor.

No que diz respeito ao seu funcionamento, podemos referir que a válvula reguladora de pressão [13] permanecerá fechada sempre que a pressão do óleo na conduta de alimentação seja inferior a 6 bar. Caso, no interior da conduta, a pressão do óleo seja igual ou superior a 6 bar, a válvula reguladora de pressão abre, efectuando o envio do óleo em excesso para a zona de sucção e originando a consequente queda de pressão. A válvula reguladora de pressão retornará á sua posição inicial de válvula fechada sempre que a pressão no interior da conduta se encontre abaixo dos 6 bar de pressão.

Do Grupo Bomba de Óleo, o óleo é enviado sob pressão para o permutador de calor [11] onde, por intermédio da água (fluido de arrefecimento do motor), que circula ao redor dos elementos de dissipação de calor do permutador, irá promover o arrefecimento do óleo durante o processo de passagem pelo seu interior.

Associado ao permutador de calor, encontra-se, instalada em paralelo uma válvula em By-Pass [12], que apenas funcionará em aberto sempre que a temperatura do óleo seja inferior a 78°C, por forma a evitar que este passe pelo interior do permutador quando não necessite de ser arrefecido e para garantir a imediata lubrificação de todos os componentes, dado que a baixas temperaturas o óleo apresentará uma viscosidade superior à de funcionamento normal. Tais circunstâncias observam-se especialmente durante o arranque do motor.

Do permutador de calor [11], o óleo é encaminhado para o sistema de filtragem, que é composto pelo filtro de óleo [17] e por uma válvula de By-Pass [10].

Os filtros que equipam o sistema de filtragem, são filtros de ultima geração, e que proporcionam uma filtragem bastante eficiente, quando comparados com os tradicionais filtros com elemento filtrante em papel.

Estes são compostos por um elemento filtrante em fibras orgânicas dispostas em espiral e espaçadas por separadores em acrílico entre as dobras do elemento filtrante, envoltas em cintas de fibra de vidro em espiral ao longo do corpo do elemento filtrante. No seu interior do filtro é composto por um tubo central não metálico, sendo que as tampas das suas extremidades são moldadas.



**Fig. 5.30** – Pormenores dos filtros de óleo CAT

No que diz respeito à válvula de By-Pass [10], que equipa o sistema de filtragem juntamente com o filtro de óleo do motor, há que referir que a mesma se encontra regulada para uma pressão de abertura a cerca de 2 bar, de forma a manter a pressão no sistema sempre constante, mesmo em caso de obstrução do filtro.

Desta forma, se a passagem do óleo através do filtro, criar uma pressão no circuito igual ou superior a 2 bar, a válvula de segurança abrir-se-á, permitindo assim que o óleo possa ser desviado dos filtros, por forma a que continue a circular no sistema.

Após arrefecido e filtrado, o fluxo de óleo lubrificante será encaminhado, por intermédio de um adaptador [9], até ao bloco dos cilindros, onde será repartido pelas galerias de óleo dos veios de Árvore de Cames esquerda [2] e direita [5] e pela galeria de óleo principal [1].

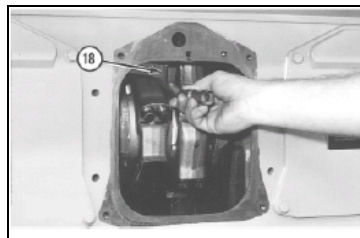
As galerias de óleo dos veios da árvore de cames esquerda [2] e direita [5] encontram-se directamente ligadas a cada um dos seus rolamentos de apoio, por intermédio de canais maquinados, para que, quando em funcionamento, os mesmos possam ser permanentemente lubrificados.

Após efectuada a lubrificação dos rolamentos de apoio das árvores de cames, o fluxo de óleo lubrificante percorrerá a cabeça dos cilindros, de forma a alcançar as câmaras de alojamento dos Martelos das válvulas e aí efectuar a respectiva lubrificação. Cada Martelo possuirá um canal interno maquinado, de forma a permitir que o fluxo de óleo lubrificante ao ser forçado a entrar no seu interior possa aceder, ao eixo de articulação, às hastes das válvulas e às varetas impulsionadoras, de forma a efectuar a respectiva lubrificação.

Na Galeria de Óleo Principal, por sua vez, o fluxo de óleo lubrificante será encaminhado, por intermédio das referidas passagens internas maquinadas no bloco do motor, às Chumaceiras e

aos Moentes da Cambota onde, por efeito da pressão gerada no circuito, será forçado a penetrar nos diversos canais internos e maquinados da própria Cambota, de forma a lubrificar as Chumaceiras e Casquilhos das Bielas.

De igual modo, parte do fluxo do óleo lubrificante sob pressão, proveniente da Galeria Principal, será enviado para as galerias de arrefecimento do motor [3] e [4], de forma a alimentar os lubrificadores de cilindros [18], situados por debaixo de cada pistão, sendo estes os responsáveis pela realização do arrefecimento do pistão bem como pela lubrificação do cavilhão do mesmo.



**Fig. 5.31** – Lubrificação e arrefecimento dos pistões

A alimentação das condutas de arrefecimento do motor [3] e [4] será controlada pela abertura das Válvulas sequenciais [7] e [8], localizadas em cada uma das extremidades da galeria principal, de forma a evitar que o óleo proveniente da galeria principal possa de forma simultânea alimentar ambas as galerias de arrefecimento do motor [3] e [4] sem que estejam reunidas as condições de pressão necessárias. Assim sendo, a abertura das válvulas sequenciais dar-se-á apenas quando a pressão na galeria principal for de aproximadamente 1,3 bar .

O circuito de lubrificação do turbo compressor será igualmente alimentado pelo fluxo de óleo proveniente da galeria principal, através de uma linha designada como linha de abastecimento [6], linha essa que recebe o fluxo de óleo lubrificante por intermédio de um adaptador localizado na retaguarda do motor e efectua o seu envio directo até ao turbo compressor.

No que diz respeito ao circuito de retorno de óleo, e em oposição ao que se evidencia no circuito de alimentação, este será do tipo circulação por gravidade, dado que todo o óleo utilizado no circuito, responsável pela lubrificação do motor e turbo compressor, será realizada apenas por recurso à acção da gravidade, ao longo de uma vasta rede de canais maquinados e de tubagens, de forma a efectuar a recolha e envio do mesmo desde os diversos pontos de lubrificação até ao cárter para novo ciclo de recirculação.

Relativamente aos vapores de óleo libertados durante o processo de combustão no interior dos cilindros, há que referir que estes serão libertados para a atmosfera através de respiradores localizados na zona de alojamento da cambota, de forma a prevenir que os mesmos gerem elevadas pressões no interior do motor e que estas possam gerar fugas quer nos vedantes quer nos empanques do motor.

#### **5.4.3 – Enquadramento nos sistemas teóricos de lubrificação**

O sistema de lubrificação do motor que se destina a alimentar as unidades geradoras de energia da marca CATERPILAR, nomeadamente da gama de motores 3500, enquadra-se nos tradicionais sistemas de lubrificação do tipo forçado, dado que, o óleo lubrificante é forçado a chegar sob pressão a todas as partes rotativas do motor, como é o caso dos moentes e chumaceiras da cambota, moentes e chumaceiras das cabeças das bielas, bem como, aos moentes e casquilhos do veio da árvore de cames.

A adopção de tal sistema de lubrificação neste motor deve-se essencialmente ao facto de estarmos perante um motor de grandes dimensões, forçado a trabalhar durante longos períodos em regimes constante, pelo que se torna extremamente necessário de garantir uma eficiente e continua lubrificação de todas as partes móveis rotativas do circuito.

No que diz respeito à forma como é efectuado o armazenamento do óleo no seu interior, quando em repouso e em serviço, podemos constatar que se trata de um motor cujo carter é utilizado como reservatório e simultaneamente como tanque de serviço, pelo que se classifica como um sistemas de cárter húmido.

Sendo um sistema de lubrificação do tipo forçado, conforme anteriormente referido, a indispensável pressão do óleo ao longo de todo o circuito, é garantida por recurso a uma bomba de óleo do tipo de carretos, nomeadamente uma bomba de três carretos. A utilização de uma bomba de três carretos, face à tradicional bomba com dois carretos, prende-se com o facto de que, face às exigências de pressão no circuito, seria necessário dispor de uma bomba de dois carretos de dimensões bastante grandes, o que dado à falta de espaço existente no compartimento do motor, se revela como a solução construtiva mais adequada.

Inserido no seu circuito de lubrificação encontra-se ainda um permutador de calor, que se justifica pelo simples facto de se tratar de um motor sobrealimentado. A sua utilização tem assim em vista a dissipação da elevada quantidade de calor gerada no seu interior. No que se refere à sua classificação, podemos constatar que se trata de um permutador exterior montado

em derivação ou paralelo, alimentado através de um termóstato que evita que o óleo o atravesse quando a baixas temperaturas, sendo apenas atravessado pelo óleo quando este atinge cerca de 78°C, evitando perdas de carga elevadas devido à viscosidade do lubrificante.

No que diz respeito ao circuito de filtragem do motor, podemos constatar que é do tipo, circuito de lubrificação com filtro em série, equipado com um Set de dois filtros, onde cada filtro é composto por um elemento filtrante do tipo absorvente em fibras orgânicas dispostas em espiral, espaçadas por separadores em acrílico entre as dobras do elemento filtrante, e envoltas em cintas de fibra de vidro em espiral ao longo do corpo do elemento filtrante, bem como, por um tubo central não metálico e tampas moldadas.

A grande vantagem da utilização de separadores em acrílico entre as dobras do elemento filtrante, bem como, do uso de cintas em fibra de vidro, face aos tradicionais sistemas de filtragem por absorção, é o facto de tais elementos permitirem manter rigidamente o espaçamento das dobras, de forma a maximizar a área de filtragem, reduzindo a possibilidade de o óleo ser desviado e que os sedimentos possam entrar no motor, bem como, evitar que as mesmas se dobrem.

A utilização de um tubo central não metálico no interior do filtro, permite eliminar a possibilidade de contaminação do motor por metais do próprio tubo, decorrente do respectivo processo de fabrico.

As tampas moldadas por sua vez, permitem criar uma ligação à prova de fugas com o meio a filtrar, dado que as pregas são embutidas nas tampas de plástico quando estas ainda estão em estado líquido no processo de fabricação, suprimindo assim o surgimento de fendas.

## Capítulo 6 – LUBRIFICANTES UTILIZADOS E SUA MONITORIZAÇÃO

No seguimento do capítulo anterior, no qual foram abordados de forma pormenorizada os sistemas de lubrificação de quatro motores Diesel de aplicações distintas, procura-se no presente capítulo abordar não só os lubrificantes para os casos de estudo abordados mas também a monitorização para controlo e substituição dos mesmos.

### 6.1 – Óleos Lubrificantes Especificados para os Casos Práticos de Estudo e a Respectiva Evolução

Na base da exposição encontra-se a documentação técnica proveniente dos serviços de apoio ao cliente da IVECO e da Caterpillar, onde de forma pormenorizada são dadas informações sobre lubrificantes aconselhados por ambas as marcas com vista à manutenção dos equipamentos.

**Quadro 6.1** – Lubrificantes recomendados Iveco e CAT

<b>Motor</b>	<b>Denominação internacional dos Lubrificantes</b>	<b>Produtos</b>
IVECO Stralis	ACEA E4 de base completamente sintética - SAE 5W30	FL Urania FE
IVECO Daily	ACEA B5 de base completamente sintética - SAE 5W30	FL Urania Daily
CAT 3512	API CH4 de base semi-sintética - SAE 15W40 de base completamente sintética - SAE 5W30	Galp Galaxia
CAT 3408	API CH4 de base semi-sintética - SAE 15W40 de base completamente sintética - SAE 5W30	Galp Galaxia

A utilização de óleos base sintéticos para resolver problemas de lubrificação não é nova. Durante a Segunda Guerra Mundial foram desenvolvidos e bastante utilizados diversos óleos base sintéticos, para impedir que os lubrificantes congelassem nos blindados durante o Inverno. Depois da guerra, os lubrificantes sintéticos foram essenciais nos novos motores a jacto, que funcionavam a temperaturas excessivas para os óleos minerais, fazendo com que estes se queimassem rapidamente, originando depósitos. Estes motores a jacto tinham também que funcionar a elevadas altitudes, onde as temperaturas eram frequentemente de - 45°C, tendo o óleo que ser bombeável a temperaturas muito baixas e, simultaneamente, que suportar as elevadas temperaturas dos motores. Pode-se afirmar que o motor a jacto moderno não existiria se não tivesse ocorrido o desenvolvimento simultâneo da tecnologia dos óleos

base sintéticos nos anos 50. Actualmente, todos os motores a jacto operam exclusivamente com lubrificantes sintéticos.

Nas décadas de 1960 e de 1970, os lubrificantes sintéticos foram sendo progressivamente utilizados em aplicações industriais severas, resolvendo problemas de depósitos a altas temperaturas em compressores de ar e em correntes transportadoras de fornos. Emergiram novos compostos químicos sintéticos para darem resposta aos muitos problemas que as aplicações industriais iam criando. Gradualmente, estes lubrificantes sintéticos dispendiosos e de alta tecnologia foram sendo cada vez mais utilizados e levados a sério, à medida que demonstravam a sua capacidade de poupar dinheiro devido a proporcionarem menores tempos de paragem dos equipamentos, custos de manutenção mais reduzidos, prolongamento da vida dos equipamentos, menores consumos de energia e produtividades mais elevadas. As atenções viraram-se para os custos totais da lubrificação e não apenas para o custo dos lubrificantes e, nesse aspecto, os lubrificantes sintéticos emergiram frequentemente como vencedores.

Os óleos de motor sintéticos foram introduzidos no início da década de 1970, com tamanhas proclamações de performance fantástica que, inicialmente, puseram os fabricantes de automóveis e as empresas petrolíferas contra estes novos produtos ainda não testados na prática. Apesar daquelas proclamações serem válidas, o nível de melhoria era frequentemente exagerado, ao ponto de estes lubrificantes adquirirem uma reputação de "banha de cobra".

Nos anos que se seguiram, os verdadeiros benefícios dos óleos de motor sintéticos foram identificados e quantificados. Entre eles, pode citar-se uma melhor estabilidade a altas temperaturas, excelentes características de escoamento a baixas temperaturas, menor volatilidade, aumento da eficiência do combustível e prolongamento da vida dos motores.

Actualmente, os fabricantes de automóveis e as empresas petrolíferas reconhecem o desempenho superior dos lubrificantes sintéticos de motor e de transmissões, especialmente em frotas ou em utilizações severas. Contudo, para o proprietário de um automóvel médio, as condições de condução são suficientemente suaves para que os óleos minerais convencionais funcionem satisfatoriamente, o que coloca a questão de os benefícios dos lubrificantes sintéticos serem realmente necessários em veículos de passageiros e justificarem o respectivo preço. Na maioria dos casos, as melhorias combinadas compensam o elevado custo inicial mas, visto que os condutores não têm uma percepção imediata das mesmas, a penetração no mercado dos lubrificantes sintéticos para motor permanece em uns poucos por cento, após quase trinta anos.

A utilização dos lubrificantes sintéticos para motor crescerá provavelmente nos próximos anos, à medida que os construtores de motores explorarem melhor os seus benefícios em novas concepções dos motores e criarem maiores exigências de performance dos lubrificantes através de especificações mais severas. Actualmente, a utilização de lubrificantes sintéticos é aceite e cresce rapidamente à medida que as suas capacidades e benefícios em termos de custos vão sendo melhor conhecidos a nível mundial. As frotas de camiões e equipamentos industriais utilizam lubrificantes sintéticos no motor, caixa de velocidades e outros órgãos de transmissão, etc. Exemplo disso são também os óleos lubrificantes recomendados pelos construtores dos motores abordados nos nossos casos práticos de estudo, como se pode ver pela observação do quadro 6.1.

O título comparativo apresenta-se no quadro 6.2 as especificações dos lubrificantes recomendados há cerca de 15 anos para os modelos Iveco e Caterpillar, de linhas concebidas para finalidades semelhantes às dos casos de estudo.

**Quadro 6.2** – Lubrificantes recomendados Iveco e CAT há cerca de 15 anos

<b>Motor</b>	<b>Denominação internacional dos Lubrificantes</b>	
IVECO Stralis	API CE de base mineral	SAE 15W40
IVECO Daily	API CD de base mineral	SAE 10W40
CAT 3512	API CF-4 de base mineral	SAE 30
CAT 3408	API CF-4 de base mineral	SAE 30

## 6.2 – Monitorização dos Óleos Lubrificantes

O controle dos óleos lubrificantes é vital para que o equipamento se mantenha em condições de plenitude operacional. Este controle permite-nos identificar não somente o desgaste do equipamento mas a degradação natural e a sua troca ou intervenção no momento exacto.

Diversos ensaios têm sido aplicados para conhecer a natureza das partículas de desgaste em termos qualitativos, quantitativos e actualmente a maioria destas técnicas são aplicadas em amostras do lubrificante em uso. Estas amostras são recolhidas em intervalos regulares, pré determinados e a avaliação dos metais de desgaste é executada.



Uma mudança gradual das características do lubrificante em serviço é normal. Contudo, mudanças súbitas apontam para a necessidade de troca do óleo e na maioria dos casos, são indícios de falha no equipamento, pois a vida do lubrificante está directamente ligada às condições de trabalho e de manutenção de cada máquina. Uma vez preservadas as características químicas e físicas do óleo e mantido em níveis toleráveis o grau de contaminantes, o lubrificante poderá permanecer em serviço por um período maior com segurança.

Várias são as empresas que fornecem um serviço de monitorização para análise do estado do óleo e do estado de desgaste de equipamentos lubrificados. O quadro 6.3, facultado pela Galp Energia, é exemplo dos tipos de ensaios/rotinas realizados pela própria em função do tipo de equipamento em questão.

Apesar de o âmbito da tese ser a lubrificação de motores diesel iremos abordar de forma sucinta todos os ensaios mencionados, não obstante nem todos os ensaios serem necessários para a tipologia de motores abordados.

**Quadro 6.3** – Ensaios/ Rotinas em função da aplicação

<b>Tipo</b>	<b>Aplicação</b>
A	Motores Diesel
A+TBN	Motores Diesel e casos especiais Diesel
Mgas	Motores de Cogeração a Gás
C+TAN	Caixas de Engrenagens, Sistemas Hidráulicos
F	Turbinas
Turbinas	Turbinas (Avançado)
N	Transferência de Calor

<b>Ensaios/Rotinas</b>	<b>A</b>	<b>A+TBN</b>	<b>Mgas</b>	<b>C+TAN</b>	<b>F</b>	<b>Turbinas</b>	<b>N</b>
Aparência (visual)	X	X	X	X	X	X	X
Viscosidade cinemática (ASTM D 445) 40°C	-	-	X	X	X	X	X
Viscosidade cinemática (ASTM D 445) 100°C	X	X	X	-	-	-	-
Ponto de inflamação e combustão °C (ASTM D 92)	-	-	-	-	-	-	X
Teor em água % (Finacheck) Método interno	X	X	X	(**)	-	(**)	-
Teor em água ppm (ASTM D 1533)	-	-	-	X	X	X	X
FTIR Método interno	X	X	X	X	X	X	X
Total Base Number (ASTM D 2896)	-	X	X	-	-	-	-
Índice de acidez (ASTM D 664)	-	-	X	X	X	X	X
Poder Dispersivo % – Fotometria	X	X	-	-	-	-	-
Índice de Contaminação – Fotometria	X	X	-	-	-	-	-
Teor de Insolúveis em Pentano e tolueno ( ASTM D 893)	-	-	X	-	-	-	X
Espectrometria de Emissão (ASTM D 5185)	X	X	X	X	X	X	X
PQ Índice – Método Interno	X	X	X	X	X	X	X
Contagem de Partículas em suspensão e classificação – S/N ISO 4406	-	-	-	-	X	X	-
Libertação de ar (ASTM D 3427-93)	-	-	-	-	-	X	-

## i) Aparência visual

Embora uma pequena quantidade de água ou sedimentos possa mudar a aparência de um óleo, de límpido e claro, para turvo e talvez mais escuro, o significado depende da quantidade e do tipo de contaminantes presentes, que pode ser determinado pela análise da água e sedimentos. Uma turvação só indica vestígios de água ou sedimentos.

O que acima se refere representa o mínimo de análises laboratoriais que normalmente se fazem para determinar as condições em que se encontra um óleo lubrificante usado.

Para poupar tempo e reduzir custos, as chamadas análises “short cut” fazem-se em vez das análises normalizadas ASTM. Estes métodos podem ser justificados enquanto os resultados forem de confiança.

## ii) Viscosidade cinemática ASTM D445

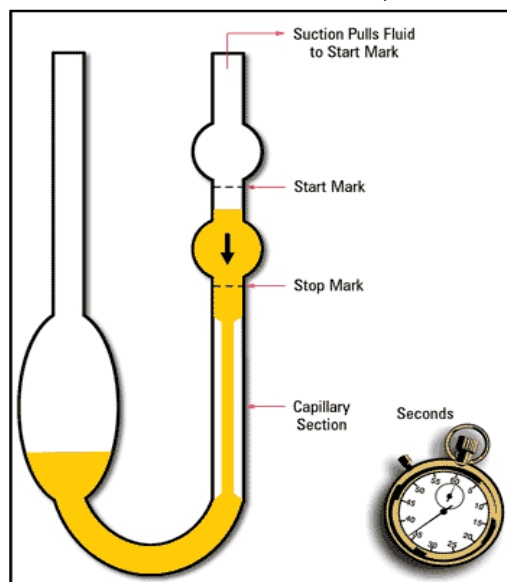
### a) Objectivo:

Conhecer a resistência do óleo a fluir à temperatura normalizada de ensaio (40 ou 100°C), quando sujeita à força da gravidade.

### b) Meios e procedimentos:

Para a realização deste ensaio é utilizado um viscosímetro de tubo de Ubbelohde, banho a temperatura constante, cronómetro e termómetros.

Neste caso todos os dispositivos estão integrados no mesmo equipamento e as medições são realizadas de forma automática. É colocado o banho à temperatura de ensaio (40° ou 100°) o óleo é sugado por intermédio de uma bomba na parte superior do tubo, permitindo ao óleo fluir por si abaixo por meio de gravidade. No instante em que passa pela marca superior é iniciada a contagem pelo cronómetro, parando a mesma ao atingir a marca inferior. O resultado obtido é então multiplicado por uma constante de forma a obter a viscosidade.



**Fig. 6.1** - Viscosímetro

### c) Resultados:

Os resultados são reportados em cSt (centistokes) à temperatura de ensaio.

## d) Significado:

Conforme anteriormente referido no Capítulo 3, a viscosidade cinemática é das principais características a considerar no momento da selecção um óleo lubrificante e uma das principais propriedades a monitorizar no óleo usado.

**iii) Ponto de inflamação ASTM D92**

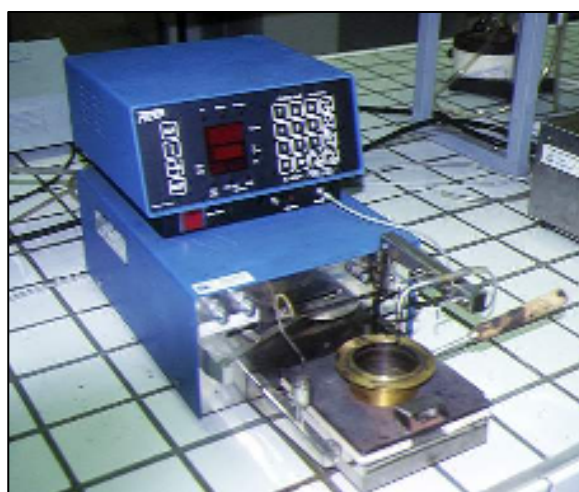
## a) Objectivo:

Determinar a temperatura mínima a que o óleo emite vapores que podem entrar em ignição na proximidade de uma chama.

## b) Meios e procedimentos:

Recipiente Cleveland para o óleo, termómetro, fonte de calor, chama e cronómetro.

Encher o recipiente com óleo até à marca indicada e submeter o óleo ao aumento gradual de temperatura de forma a libertar vapores. Paralelamente submetem-se os vapores ao contacto com uma chama, até que os mesmos se incendeiem.



**Fig. 6.2** – Equip. para determinação do ponto de inflamação.

## c) Resultados:

Temperaturas em °C ou °F, especificando o método utilizado.

## d) Significado:

Procura-se com este ensaio avaliar a tendência que o óleo tem para se evaporar em serviço, e consequentemente a sua temperatura máxima de serviço.

**iv) Teor em água % (Finacheck) PE-5022-AI**

## a) Objectivo:

Determinar a água presente em óleos lubrificantes e fuelóleos. O limite de utilização deste método é até 20% de teor de água.

## b) Meios e procedimentos:

Equipamento Finacheck.

Dilui-se a amostra de óleo com 20ml de querosene e uma vez diluído acrescenta-se uma cápsula com hidrato de cálcio, que ao reagir com a água, forma gás, e este fará com que o líquido no tubo de ensaio contíguo desça até estabelecer o teor de água.



**Fig. 6.3** – Equip. para determinação do teor de água (Finacheck).

## c) Resultados:

Os resultados são expressos em %. Dependendo da quantidade da amostra utilizada o resultado obtido terá de ser multiplicado por um factor de ajuste, conforme apresentado no quadro 6.4.

**Quadro. 6.4** – Relação quantidade de amostra versus factor de ajuste

Quantidade de Amostra (g)	Factor de Ajuste
20	1
10	2
4	5
2	10
1	20

## v) Teor em água Karl Fischer ASTM D1553:

## a) Objectivo:

Determinar a água presente em óleos lubrificantes e fuelóleos. Trata-se de um ensaio com um elevado grau de sensibilidade que se baseia na valorização colométrica.

## b) Meios e procedimentos:

Equipamento Karl Fischer Coulometric.

Injecta-se uma quantidade de amostra conhecida (pesando a seringa antes e depois). Aquece-se seguidamente a amostra de forma a evitar interferências, a água reage com o reagente dando-se a valorização.



**Fig. 6.4** – Equip. para determinação do teor de água (Karl Fischer).

## c) Resultados:

O resultado é obtido em ppm (partes por milhão, mg de água/Kg de amostra)

## d) Significado:

Pela sua elevada sensibilidade, é utilizado em casos nos quais pequenas quantidades de água podem ser críticas para o correcto desempenho do lubrificante.

**vi) FTIR método interno**

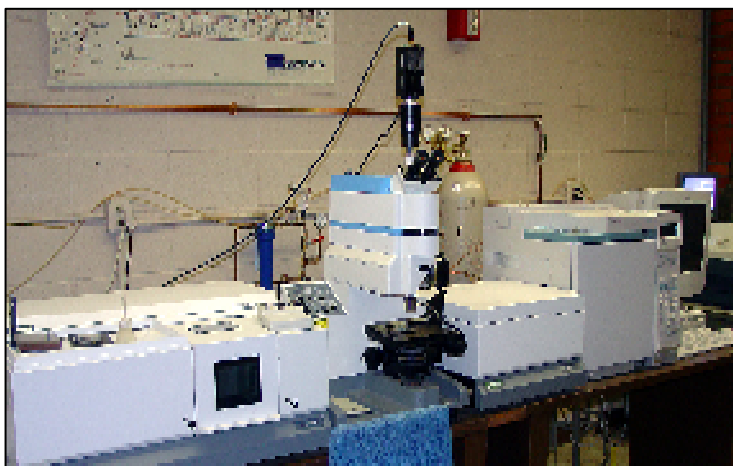
## a) Objectivo:

Permite determinar a quantidade de água, matéria carbonosa, combustíveis, oxidação, sulfatação, nitratação, e glicol por espectro-fotometria infravermelha.

## b) Meios e procedimentos:

Equipamento FTIR (Espectro infravermelho por transformada de Fourier).

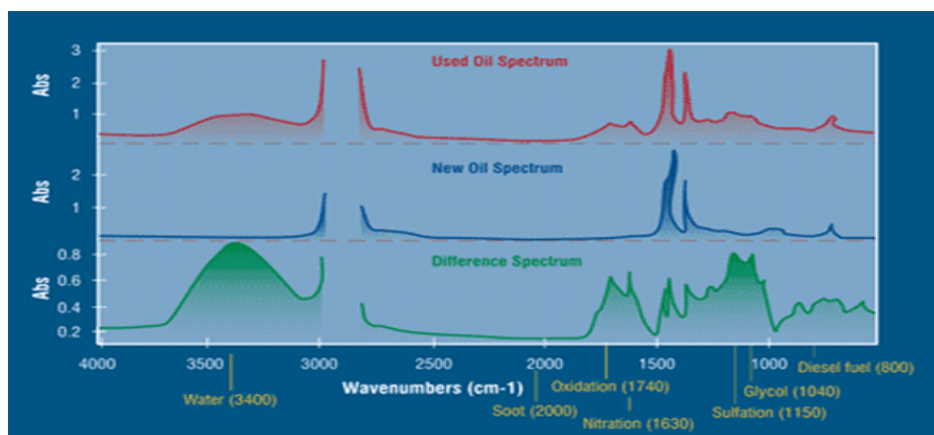
De forma a criar condições de ensaio inalteráveis o feixe atravessa uma espessura de óleo constante. Primeiro é obtido o espectro de um óleo novo que ira servir de referência, sendo seguidamente obtido o espectro do óleo usado para que este seja passível de análise. Os diferentes compostos que constituem absorvem o feixe infravermelho a frequências distintas, permitindo desta forma a obtenção da curva do óleo usado.



**Fig. 6.5** – Equip. de espectro infravermelho por transformada de Fourier.

## c) Resultados:

Comparando o espectro do óleo novo com o do óleo usado, obtém-se a evolução dos diferentes compostos sendo estes quantificados pelo software do próprio equipamento.



**Fig. 6.6** – Espectro resultante da diferença entre o espectro do óleo usado e do novo

## d) Significado:

Permite monitorizar múltiplos parâmetros do óleo lubrificante, avaliar o estado de degradação do óleo base, e a condição dos aditivos e contaminantes.

## vii) Numero de basicidade total (TBN) ASTM D2896

## a) Objectivo:

Determinar os componentes básicos (ou alcalinos) presentes no óleo lubrificante, mediante uma valorização com ácido perclórico em ácido acético glacial.

## b) Meios e procedimentos:

Potenciômetro.

Registrar o PH inicial da amostra já preparada. O reagente é adicionado até se atingir o ponto de saturação, em que se regista a quantidade de reagente adicionado bem como o índice de acidez.



**Fig. 6.7** – Equip. para determinação do número de basicidade total

## c) Resultados:

O número de neutralização é medido em miligramas de hidróxido de potássio (KHO) necessárias para neutralizar uma grama de amostra. Traduz a quantidade de ácido necessária para neutralizar a amostra alcalina.



Quanto maior o índice de TBN, tanto mais eficaz é o lubrificante em impedir o desgaste de contaminantes e em reduzir os efeitos corrosivos de ácidos durante um período de tempo prolongado, pelo que se traduz num aumento de vida útil do mesmo.

As medições ASTM D2896 geralmente variam entre 6-80 mg de KOH/g de amostra nos modernos lubrificantes, sendo considerado como valores normais para o uso auto em geral 7-10 mg de KOH/g de amostra, e de 10-15 mg de KOH/g de amostra para operações Diesel. Lubrificantes para aplicações marítimas poderão variar entre 15-50 mg de KOH/g, podendo contudo chegar a atingir valores entre 70 e 80 mg de KOH/g de amostra.

d) Significado:

O “total basicity number” ou número de basicidade (ou alcalinidade) total é realizado principalmente em óleos lubrificantes usados em motores diesel. Estes óleos têm uma reserva alcalina, destinada à neutralização dos ácidos formados pela combustão do diesel. Em geral essa contaminação é de enxofre e a neutralização ocorre por aditivação alcalina, verificada pelo TBN, expressão que indica quanto desta reserva ainda resta no óleo.

#### viii) Índice de acidez (TAN) ASTM D664

a) Objectivo:

Conhecer a acidez dos lubrificantes, baseado no princípio electrolítico, em função da quantidade de reagente necessário para levar a amostra a um nível “neutro”.

b) Meios e procedimentos:

Potenciómetro.

Registrar o ph inicial da amostra já preparada. O reagente é adicionado até se atingir o ponto de saturação, em que se regista a quantidade de reagente adicionado bem como o índice de acidez.



**Fig. 6.8** – Equip. para determinação do número de acidez total

c) Resultados:

O número de neutralização é medido em miligramas de hidróxido de potássio necessárias para neutralizar uma grama de amostra. Traduz a quantidade de reagentes necessária para neutralizar a amostra ácida.



## d) Significado:

A oxidação dos óleos, tais como os lubrificantes e os hidráulicos, é uma das principais causas de avarias mecânicas. O índice de acidez (Total Acid Number – TAN) determina a quantidade de aditivos presentes no óleo, assim como, o início de oxidação do lubrificante. A correcta monitorização da progressão do índice de acidez em óleos pode evitar custos elevados de reparação ou de substituição de equipamentos.

**ix) Capacidade Dispersante e Índice de contaminação PE 5038-AI**

## a) Objectivo:

Comprovar a capacidade dispersante e o índice de contaminação que o lubrificante apresenta. Este ensaio é aplicado a todo o tipo de lubrificantes de motor tanto novos como usados.

## b) Meios e procedimentos:

Fotómetro.

A amostra é aquecida de forma a evaporar os seus compostos mais voláteis sendo seguidamente colocada em papel de filtro. Por intermédio do fotómetro é efectuada a leitura de forma a obter os resultados.



**Fig. 6.9** – Equip. para determinação da capacidade dispersante e do índice de contaminação

## c) Resultados:

Os resultados vêm em percentagem, e são interpretados com base em parâmetros de medidas convencionados.

**Quadro. 6.5** – Valores de referência para a capacidade dispersante e índice de contaminação.

	Valor Normal	Valor Alerta	Valor Perigo	Parâmetro de valores
I.C (%)	<1	1-1,5	>1,5	0-4
C.D (%)	>70	70-60	<60	100-0

## d) Significado:

Determina a reserva alcalina de que dispõe o óleo lubrificante para poder neutralizar os ácidos gerados durante a combustão, assim como, as reservas de detergentes.

**x) Teor de insolúveis em pentano e tolueno ASTM D893****a) Objectivo:**

Determinar os compostos insolúveis presentes no óleo. Estes compostos podem ser devidos à degradação do óleo ou originados na combustão ou processo de desgaste e corrosão.

**b) Meios e procedimentos:**

Centrifugadora.

Pesar o tubo da centrifugadora limpo e seco. Pesar 10g da amostra e adicionar pentano até 100ml no tubo da centrifugadora. Centrifugar durante 20 minutos. Deitar o líquido sem mover o precipitado (não deixando mais de 3 ml) e adicionar pentano até 50ml. Centrifugar durante mais 20 minutos. Deitar o líquido fora e secar o tubo com o precipitado durante 30 minutos a 105°C e pesar.



**Fig 6.10** – Equip. para determinação do teor de insolúveis

**c) Resultados:**

A percentagem de insolúveis será dada por:

$$T.I = 10 \cdot (B - A) , \text{ sendo:}$$

A: Peso do tubo seco e limpo (g);

B: Peso do tubo seco com os insolúveis (g)

**xi) Espectrometria de emissão ASTM D5185****a) Objectivo:**

Determinar os aditivos, metais de desgaste e contaminantes presentes no óleo usado, mediante espectrometria por plasma de acoplamento induzido (ICP).

**b) Meios e procedimentos:**

ICP - Espectrometria por plasma de acoplamento induzido.



**Fig 6.11** – Equip. de Espectrometria de emissão

Colhe-se uma amostra de 1 ml de óleo e dilui-se em 9 ml de dissolvente (querosene). A mistura é sugada por uma bomba, fazendo-a atravessar o equipamento de diagnóstico, onde os diferentes comprimentos de onda e sua intensidade, permitem determinar a presença e quantidade de cada elemento.

c) Resultados:

Os resultados obtêm-se em ppm (partes por milhão, mg de elemento /Kg de amostra)

d) Significado:

Permite a rápida determinação de 22 elementos químicos, em apenas alguns minutos por cada amostra, o que nos proporciona uma rápida indicação dos níveis de desgaste presentes no óleo.

### xii) PQ Índex PE 5024-AI

a) Objectivo:

Determinação das partículas ferromagnéticas, tais como ferro e níquel, dispersas no óleo.

b) Meios e procedimentos:

Analizador PQ.

O equipamento consiste de duas bobinas, uma referente à amostra (sensor) e outra de referência, ambas em equilíbrio. Se se colocar no sensor uma amostra com partículas ferro magnéticas, é quebrado o equilíbrio do qual se origina um sinal que ampliado nos dá o índice PQ.



**Fig. 6.12** – Equip. para determinação PQ Índex

c) Resultados:

O PQ Índex é um valor adimensional relacionado directamente com a quantidade de partículas ferromagnéticas presentes no óleo lubrificante.

d) Significado:

Permite-nos verificar/comparar os resultados obtidos no ICP em espectrometria de emissão, especialmente no caso de as partículas provenientes do desgaste serem de grande dimensão não passando nos capilares da espectrometria originando assim baixos valores nos metais de desgaste. Assim, se obtivermos um valor elevado no PQ Índex e baixos valores na

espectrometria, significa que provavelmente existem partículas de grande dimensão. Quanto maior o teor de metais maior o valor de PQ índice.

### xiii) Contagem de partículas sólidas em suspensão ISO 4406

#### a) Objectivo:

Avaliar a sujidade do lubrificante por intermédio de uma distribuição de partículas por tamanho nele presente.

#### b) Meios e procedimentos:

Contador óptico.

A amostra de lubrificante é forçada a atravessar uma conduta onde é submetida a um feixe de raio laser. A distorção causada no feixe laser é captada por uma célula foto detectora que determina assim o tamanho das partículas presentes no fluido.

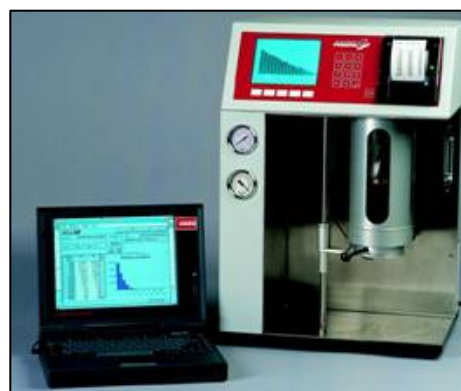


Fig. 6.13 – Equip. para contagem de partículas

#### c) Resultados:

O resultado é reportado em três números, designados como números de banda, que indicam a quantidade de partículas maiores que 4, 6 e 14  $\mu$  (mícrones).

Seguindo o Quadro 6.6, se tivermos 3000 partículas maiores que 4  $\mu$ , 550 maiores que 6  $\mu$  e 75 maiores que 14  $\mu$ , teremos um código ISO 19/16/13.

Quadro 6.6 – Código ISO contagem partículas

Número de partículas por ml		Número de Banda
Maiores que	até e inclusivé	
80.000	160.000	24
40.000	80.000	23
20.000	40.000	22
10.000	20.000	21
5.000	10.000	20
2.500	5.000	19
1.300	2.500	18
640	1.300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2.5	5	9
1.3	2.5	8
0.64	1.3	7
0.32	0.64	6
0.16	0.32	5
0.08	0.16	4
0.04	0.08	3
0.02	0.04	2
0.01	0.02	1

**xiv) Liberação de ar ASTM D 3427****a) Objectivo:**

Permite avaliar a capacidade que o óleo lubrificante tem para se separar do ar. Este ensaio é aplicado de forma restrita a turbinas.

**b) Meios e procedimentos:**

Equipamento de liberação de ar.

A amostra de óleo é aquecida a 25, 50 ou 75°C e introduzido ar comprimido. Uma vez parado o fluxo de ar regista-se o tempo que este demora a reduzir o seu volume até aos 0.2%.



**Fig. 6.14** – Equip. para determinação da liberação de ar

**c) Resultados:**

O resultado é dado em minutos à temperatura de ensaio.

**d) Significado:**

Ao agitar-se o óleo lubrificante com o ar em equipamentos como engrenagens, bombas, linhas de retorno, etc., pode originar-se a formação de bolhas de ar no óleo. Se o tempo de depósito não for o suficiente para que as bolhas de ar possam ser libertadas à superfície, estas colapsar-se-ão, entrando no sistema de lubrificação uma mistura de óleo e ar, a qual dará origem a problemas de falta de lubrificação nos elementos, cavitações, além da falta de sensibilidade nos sistemas hidráulicos.

**6.3 – Interpretação dos Resultados das Análises**

Pelos resultados das análises, é possível conhecer, controlar e normalmente combater a origem da contaminação. De posse desses dados, os prestadores fornecem relatórios informativos que orientam o utilizador, possibilitando-lhe promover intervenções seguras.

Os resultados das análises são avaliados à luz de valores ditos de referência, obtidos com base em dados facultados pelos fabricantes de motores, bem como, por valores obtidos com base na experiência de fabrico, controlo e monitorização dos próprios fabricantes de lubrificantes. Exemplo disso é o quadro 6.7, que surge como sendo o quadro de referência da Galp Energia, para gerar os relatórios de diagnóstico dos equipamentos.

**Quadro 6.7** – Parâmetros de avaliação para motores Diesel – Galp Energia

	Normal	Alerta	Perigo
Viscosidade 40° (Dif %)	<15	15-25	>25
Viscosidade 100° (Dif %)	<15	15-25	>25
Teor de insolúveis (%)	<2	2-3	>3
Oxidação (ABS/cm)	<20	20-30	>30
Nitração (ABS/cm)	<20	20-30	>30
Sulfatação (ABS/cm)	<20	20-30	>30
TAN (Dif mgr KOH/gr)	<2	2-3	>3
TBN (Dif mgr KOH/gr)	<50	50-60	>60
Matéria carbonosa (%)	<80	80-90	>90
Combustível (%)	<4	4-5	>5
Anti congelante (%)	<0.08	0.08-0.2	>0.2
Teor de água (%)	<0.2	0.2-0.3	>0.3
PQ index (Adim)	<110	110-220	>220
Teor em Al (ppm)	<10	10-20	>20
Teor em B (Dif ppm)	<500	500-600	>600
Teor em Ca (Dif %)	<30	30-50	>50
Teor em Cr (ppm)	<10	10-15	>15
Teor em Cu (ppm)	<20	20-30	>30
Teor em Fe (ppm)	<100	100-120	>120
Teor em K (ppm)	<30	30-40	>40
Teor em Mg (Dif %)	<35	35-50	>50
Teor em Mo (ppm)	<15	15-25	>25
Teor em Na (ppm)	<20	20-30	>30
Teor em Ni (ppm)	<50	50-60	>60
Teor em P (Dif %)	<30	30-50	>50
Teor em Pb (ppm)	<40	40-50	>50
Teor em Si (ppm)	<50	50-55	>55
Teor em Sn (ppm)	<20	20-30	>30
Teor em Zn (Dif %)	<30	30-50	>50
Índice de viscosidade (Dif %)	<10	10-20	>20
Ponto de inflamação (Dif %)	<200	200-205	>205
Detergência (Adim)	<10	10-20	>20

Em função desses valores ditos de referência e com auxílio a programas informáticos são gerados automaticamente relatórios de análise geralmente numa linguagem clara e acessível ao comum utilizador sem grande conhecimento de causa.

Grandes desvios são indicações de sérios problemas. Desvios menos graves fornecem uma indicação de que mudanças operacionais ou deficiências na manutenção estão em curso e certamente contribuirão para um desgaste prematuro.

Por cortesia da empresa Urmáquinas, poderá ver-se na Figura 6.15 um típico exemplo de um relatório de diagnóstico, gerado pela Galp Energia ao modelo CAT 988G que equipa com um motor CAT 3408E, por nós abordados nos casos práticos de estudo no capítulo 5.

Neste caso, sendo um equipamento já com historial de monitorização, o cliente além de poder observar de forma clara e objectiva o estado do seu equipamento á data da análise poderá igualmente avaliar o histórico do mesmo ficando com uma panorâmica mais clara do estado de degradação do seu equipamento podendo desta forma, prevenir e antecipar possíveis intervenções para reparação do mesmo.

[illegible]

**Figura 6.15** – Relatório de diagnóstico do motor CAT 3408E – Urmáquinas



## Capítulo 7 – CONCLUSÕES

### 7.1 - Breve Resumo do Trabalho Realizado

A cada vez maior diversidade de aplicações para os motores diesel, a sua crescente produção de ano para ano, os aperfeiçoamentos técnicos introduzidos ao longo dos anos e a sua vasta aplicação no plano industrial em todas as aplicações em que se deseje energia com vista a obtenção de vantagens económicas, norteou este trabalho com vista à preservação dos mesmos.

A presença de um circuito de lubrificação prende-se com a necessidade de reduzir o atrito entre duas peças que têm movimento relativo, e que exercem entre si determinada carga. Mesmo as superfícies que aparentam um aspecto perfeitamente polido têm rugosidades que, caso não houvesse lubrificação, entrariam em contacto durante o movimento, aumentando o atrito. A intensidade deste dependeria da pressão de contacto entre as superfícies e da sua velocidade relativa, o que conduziria à libertação de calor das peças, sua dilatação e, consequente, aumento da pressão de contacto e sua fusão (gripagem).

Assim, para diminuir o atrito entre os diferentes elementos em movimento, o que diminui as perdas mecânicas e contribui para preservar o rendimento do motor, é fundamental a presença de um sistema de lubrificação, que interponha entre as superfícies uma fina camada de óleo que evite o contacto de metal sobre metal.

Stachowiak estima que  $\frac{1}{3}$  da energia que se consome se destina a perdas por atrito, assim sendo, nada mais importante para aqueles que futuramente se ocuparam de unidades industriais que o estudo da tribologia, cujos objectivos são o de melhorar a divulgação e ensino relativamente ao desgaste, atrito e Lubrificação.

Este trabalho foi dividido em sete capítulos; no primeiro capítulo, foi enquadrado o problema e definido os objectivos a que nos propusemos a alcançar; no segundo efectuado uma breve introdução ao motor diesel, tendo sido efectuadas considerações gerais sobre o seu princípio de funcionamento e ciclos de trabalho; no terceiro foi abordado as propriedades genéricas, aditivos e especificações dos óleos lubrificantes, bem como, massas lubrificantes e as suas principais características; no quarto o mecanismo de lubrificação das chumaceiras dos diversos órgãos do circuito de lubrificação, os diversos sistemas teóricos de lubrificação, bem como os componentes que constituem o sistema de lubrificação de um motor a diesel; no quinto capítulo, designado por casos de estudo, procurou-se efectuar a descrição pormenorizada dos

sistemas de lubrificação de quatro motores distintos, bem como, procurar enquadrar os mesmos nos sistemas teóricos lubrificação anteriormente abordados; no sexto capítulo abordam-se os óleos lubrificantes utilizados pelos motores abordados nos casos práticos, bem como a temática da monitorização dos óleos lubrificantes. Este sétimo capítulo apresenta o resumo do trabalho realizado, as conclusões gerais e sugestões para trabalhos futuros.

## **7.2 - Conclusões**

Não obstante algumas dificuldades em justificar algumas das opções construtivas tomadas por cada uma das marcas nos sistemas de lubrificação dos motores analisados, pensamos que os objectivos enunciados foram claramente atingidos. Assim:

- Foi enquadrado cada um dos motores analisados nos respectivos sistemas teóricos de lubrificação abordados;
- Deu-se resposta as razões que justificam as opções construtivas de cada uma das opções construtivas abordadas no caso prático de estudo, á luz da documentação facultada por cada uma das marcas, sendo de enaltecer a ajuda sempre pronta dos técnicos e especialista quer da Iveco quer da Caterpillar, abertos a toda e qualquer esclarecimento.

Assim sendo, e finalizando em função do contributo de engenharia proporcionado pelo presente trabalho, penso estar em condições de afirmar que o objectivo de divulgação e ensino relativamente ao desgaste, atrito e Lubrificação de motores Diesel foi alcançado.

## **7.3 - Sugestões para Trabalhos Futuros**

A realização deste trabalho deixa em aberto novas perspectivas de desenvolvimento.

Por um lado e desde já, numa perspectiva de continuidade do trabalho iniciado, considero que seria interessante:

- Abordar de forma pormenorizada, métodos e dispositivos para monitorização on-line de equipamentos;
- Analisar a fiabilidade dos sistemas de lubrificação dos equipamentos abordados.

Por outro lado, e numa perspectiva, mais alargada da lubrificação:

- Abordar o tema da lubrificação em motores de ignição por faísca;
- Efectuar a comparação dos sistemas de lubrificação diesel com os sistemas de lubrificação de motores de ignição por faísca;
- Analisar de uma forma comparativa a fiabilidade do sistema de lubrificação dos equipamentos de ignição por compressão e por faísca.

No âmbito do contexto automóvel considero ainda, que seria igualmente interessante:

- Abordar os demais sistemas que constituem os motores de combustão interna.

Numa visão empreendedora, e procurando uma maior aplicabilidade prática julga-se que era importante poder serem desenvolvidos estes e outros temas, numa realidade profissional, integrada e planeada junto de empresas do ramo, com o objectivo de cooperar no desenvolvimento da engenharia em Portugal.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

### **ACEA – European Automobile Manufacturers Association**

European Oil Sequences for Service Fill Oils  
ACEA, Bruxelles, 2007

### **API – Instituto Americano de Petróleo**

Guia de Lubrificantes para Motores  
Copyright 2002 - American Petroleum Institute.

### **Ariaz Paz, Manuel**

Automobiles  
Editorial Dossat, Madrid, 1998

### **Ariaz Paz, Manuel**

Tractores  
Editorial Dossat, Madrid, 1997

### **Brady, Robert N.**

Modern Diesel Technology  
Prentice Hall, 1995

### **CAT – Service Information System**

3408E and 3412E Industrial Engines  
Caterpillar, USA, 2004

### **CAT – Service Information System**

3500 Engines for Caterpillar Built Generators Sets  
Caterpillar, USA, 2001

### **Crouse, William H. e Anglin, Donald L.**

Automotive Engines  
McGraw-Hill International Editions, 1994

**Escuela Superior de Ingenieros - Tecnun**

Introducción a la Lubrificación

Universidade de Navarra, 2006

**Estévez, Segundo**

Tecnologia do Automóvel

Plátano- Edições Técnicas, Porto, 1995

**Ferreira, Luís Andrade**

Tribologia

Publindústria, Edições Técnica, Porto, 1998

**Garrett, T., Newton, K. e Steeds, W.**

The Motor Vehicle

Butterworth-Heinemann, 1998

**Giacosa, Dante**

Motores Endotermicos

Ediciones Omega, S.A, Barcelona, 1988

**Heywood, John B.**

Internal Combustion Engines Fundamentals

McGraw-Hill International Editions, 1989

**Justino, F., Ferreira, M.**

Óleos Base para a Produção de Lubrificantes Sintéticos

Galp Energia, 2003

**Lubrizol**

Lubricants and Fuels

The Lubrizol Corporation, Ohio, 2005

**Móbil**

Fundamentos da Lubrificação

Mobil Oil Portuguesa, Lisboa, 1976

**Mobil**

Lubrificação e Manutenção Preventiva de Motores Diesel

Mobil Oil Portuguesa, Lisboa, 1980

**Neale, M.J.**

Tribology Handbook

Newnes-Butterworths, London, 1973

**Rahde, Sérgio Barbosa**

Máquinas Térmicas

Pontifícia Universidade Católica Rio Grande do Sul – DEM, Rio Grande do Sul, 2003

**Revue Technique Automobile - Revue Technique Diesel**

Motores Diesel

Editorial Blume, 1973

**Santos, Fernando**

Os sistemas de Lubrificação e os Lubrificantes nos Equipamentos Agrícolas

Universidade de Trás-os-montes e Alto Douro, 1996

**Scuola Prodotto IVECO**

Meccanica dei motori Corsor

IVECO, Torino, 2002

**Scuola Prodotto IVECO**

Meccanica dei motori F1C common rail per Daily

IVECO, Torino, 2004

**SENAI / CST**

Lubrificação – Mecânica

SENAI-ES, Vitória, 1996

**Shell**

O Motor Diesel e sua Lubrificação

Shell Portuguesa, S.A.R.L, Lisboa, 1957

**Stachowiak, Gwidon W. e Batchelor, Andrew W.**

Engineering Tribology

Butterworth-Heinemann, Boston, 2001

## **SITES CONSULTADOS**

**Breve Historia del Nascimento del Motor Diesel**

[http://usuarios.lycos.es/vblasco/articulos/Biograf%EDa\\_Diesel.pdf](http://usuarios.lycos.es/vblasco/articulos/Biograf%EDa_Diesel.pdf) , 03/2007

**Castrol**

<http://www.castrol.com/castrol/sectiongenericarticle.do?categoryId=82916232&contentId=6008529> , 03/2007

**Caterpillar**

<http://www.cat.com> , 09/2006

**Cummins**

<http://www.cummins.com/> , 09/2006

**Historia del Motor de Cuatro Tiempos**

<http://www.geocities.com/mecanicoweb/kt1.htm>, 03/2007

**Howstuffworks**

<http://www.howstuffworks.com/> , 03/2007

**Ipiranga**

<http://www.ipiranga.com.br/petroleo/distribuicao/download/cartilha.pdf> , 02/2007

**Iveco**

<http://www.iveco.com>, 09/2006

**Keveney**

<http://www.keveney.com/Engines.html> , 03/2007

**Lubes & Greases**

<http://www.lngpublishing.com> , 02/2007

**Lubri-Norte**

<http://www.lubri-norte.com.br/classif.html> , 02/2007

**Machinery Lubrication Magazine**

<http://www.machinerylubrication.com> , 02/2007

**Motores e Geradores**

<http://www.joseclaudio.eng.br/> , 03/2007

**The University of Sheffield**

<http://www.shef.ac.uk/mecheng/tribology/teaching/whatistribology.htm> , 04/2007

**wikipedia**

<http://www.wikipedia.org/wiki/tribology> 04/2007